

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal

Talles Hudson Souza Lacerda

**PROJEÇÃO DIAMÉTRICA COM BASE EM DADOS
OBSERVADOS ANTES E APÓS O DESBASTE EM
POVOAMENTOS DE EUCALIPTO**

Diamantina

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
ENGENHARIA FLORESTAL
TALLES HUDSON SOUZA LACERDA

**PROJEÇÃO DIAMÉTRICA COM BASE EM DADOS
OBSERVADOS ANTES E APÓS O DESBASTE EM
POVOAMENTOS DE EUCALIPTO**

Diamantina – Minas Gerais

2017

Talles Hudson Souza Lacerda

**PROJEÇÃO DIAMÉTRICA COM BASE EM DADOS OBSERVADOS ANTES E
APÓS O DESBASTE EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Manejo Florestal e Silvicultura.

Orientador: Prof. Dr. Gilciano Saraiva Nogueira

Diamantina – Minas Gerais

2017

Ficha Catalográfica - Sistema de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecária: Jullyele Hubner Costa CRB-6/2972

L131p Lacerda, Talles Hudson Souza.
2017 Projeção diamétrica com base em dados observados antes e
após o desbaste em povoamentos de eucalipto / Talles Hudson
Souza Lacerda. – Diamantina : UFVJM, 2017.
65 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Gilciano Saraiva Nogueira

Dissertação (mestrado) –Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri. Programa de Pós-Graduação em Ciência
Florestal, 2017.

1. Simulação. 2. Desbaste. 3. Modelo de distribuição diamétrica.
4. Método da máxima verossimilhança. 5. Método da aproximação
linear. I. Nogueira, Gilciano Saraiva. II. Título.

CDD 634.973766

Elaborada com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

TALLES HUDSON SOUZA LACERDA


**Projeção diamétrica com base em dados observados antes e após o
desbaste em povoamentos de eucalipto**

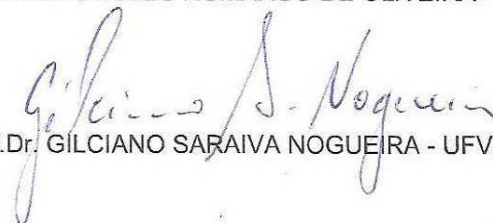
Dissertação apresentada ao
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIA FLORESTAL - STRICTO
SENSU, nível de MESTRADO como
parte dos requisitos para obtenção do
título de MAGISTER SCIENTIAE EM
CIÊNCIA FLORESTAL

Orientador : Prof. Dr. Gilciano Saraiva
Nogueira

Data da aprovação : 16/02/2017


Prof.Dr. CARLOS ALBERTO ARAÚJO JUNIOR - UFMG


Prof.Dr. MARCIO LELES ROMARCO DE OLIVEIRA - UFVJM


Prof.Dr. GILCIANO SARAIVA NOGUEIRA - UFVJM

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela dádiva da vida e por sempre guiar os meus passos, colocando em minha vida pessoas que me inspiram, me ajudam, me desafiem e me encorajam a tornar-me uma pessoa melhor.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) em especial ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gilciano Saraiva Nogueira, pela disponibilidade, ensinamentos, paciência e por compartilhar seus conhecimentos e experiências.

Aos professores da UFVJM pelos ensinamentos durante esta caminhada, em especial ao professor Márcio Leles Romarco de Oliveira, o qual tive o privilégio de conhecer.

Aos participantes da banca, pela disponibilidade e contribuições no trabalho.

À empresa BAHIA SPECIALTY CELLULOSE por ter cedido os dados do experimento.

Aos meus pais, pelo incentivo, dedicação, amor e paciência.

Aos meus irmãos, pela união e momentos de descontração.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar, do ponto de vista estatístico e biológico, simulações realizadas por dois modelos de distribuição diamétrica, ajustados pelos métodos de aproximação linear e máxima verossimilhança, em plantações de eucalipto submetidos a desbaste. Os dados foram provenientes de um povoamento híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, sob regime de desbaste, localizado no nordeste da Bahia, vinculados à empresa BAHIA SPECIALTY CELLULOSE. Os dados utilizados neste estudo foram obtidos nas idades 27, 40, 50, 61, 76, 87, 101, 112, 122, 137, 147, 158 e 165 meses. Esse povoamento foi submetido a tratamentos de remoção seletiva de 20%, 35% e 50%, nas idades 58 e 142 meses. Utilizou-se dois modelos de distribuição diamétrica, empregando bases de dados observadas aos 27 meses (antes do primeiro desbaste), aos 61 meses (após o primeiro desbaste) e aos 147 meses (após o segundo desbaste). Por meio dos modelos gerou-se três sistemas, os quais se diferiram no método de ajuste da função Weibull. No sistema 1 os parâmetros da função Weibull foram ajustados pelo método de aproximação linear. No sistema 2 e no sistema 3, os parâmetros foram ajustados pelo método da máxima verossimilhança. As projeções realizadas pelos sistemas foram confrontadas com as distribuições diamétricas observadas, por meio do teste de aderência Kolmogorov-Smirnov a 1% de significância, e pelo teste F de Graybill, com nível de significância de 5%. Os três sistemas proporcionaram distribuições diamétricas projetadas estatisticamente semelhantes às observadas, antes e após o desbastes. O sistema 2 apresentou um maior percentual de projeções não significativas para os dois testes estatísticos empregados. As simulações realizadas pelos modelos apresentaram realismo estatístico e tendência do crescimento da distribuição de diâmetros para diferentes porcentagens de desbaste. Houve maior eficiência dos modelos ao se utilizar distribuições diamétricas observadas em idades imediatamente antes do desbaste. As projeções das distribuições diamétricas, empregando-se como base inicial as distribuições observadas antes do primeiro desbaste e imediatamente após os desbastes (simulações 1, 2 e 3), foram mais precisas do que as projeções obtidas quando foram utilizadas somente as distribuições diamétricas observadas antes do primeiro desbaste como base inicial para as projeções e, em seguida, simulados os desbastes nas idades previstas e, por último, realizadas as projeções empregando-se a distribuição estimada remanescente do desbaste como base inicial para projetar as distribuições para idades subsequentes (simulações 4, 5 e 6).

Palavras-chave: Simulação, Desbaste, Modelo de distribuição diamétrica, Método da máxima verossimilhança, Método da aproximação linear.

ABSTRACT

The objective of the study was evaluated from the statistical and biological point of view, simulations performed by two models of diametric distribution, adjusted by linear approximation and maximum likelihood methods, in eucalyptus plantations submitted to thinning. The data were found in a hybrid settlement of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, under thinning regime, located in the northeast region of Bahia, linked to the company BAHIA ESPECIALIDADE CELULOSE. The data used in this study 27, 40, 50, 61, 76, 87, 101, 112, 122, 137, 147, 158 and 165 months. This population was submitted to treatments of selective removal of 20%, 35% and 50%, in the ages 58 and 142 months. Two diametric distribution models were used, using data bases observed at 27 months (before the first thinning), at 61 months (after the first thinning) and at 147 months (after the second thinning). By means of the models three systems were generated, the channels did not differ any method of adjustment of the Weibull function. No system 1 of the Weibull function parameters were adjusted by the linear approximation method. In system 2 and in system 3 the parameters were adjusted by the maximum likelihood method. As the projections performed by the systems were compared with the observed diametric distributions, using the Kolmogorov-Smirnov test at 1% significance, by the Graybill F test, with a significance level of 5%. The three systems provided by the statistically projected diametric distributions for observations, before and after the deviations. System 2 presents a higher percentage of non-significant projections for the two statistical tests used. As simulations of model execution demonstrated statistical realism and tendency of growth of the distribution of diameters for different percentages of thinning. There was greater efficiency of the models of use of diametric distributions observed in ages before thinning. As the projections of the diametric distributions, using as an initial basis as distributions observed before the first thinning and after the slabs (simulations 1, 2 and 3), were more accurate than the projections obtained when only diametric distributions observed before the first Thinning as the initial basis for the projections and then simulated the lagging at the predicted ages and finally performed as projections using an estimated remnant distribution of the thinning as the initial basis for designing as distributions for subsequent ages (simulations 4, 5 and 6).

Keywords: Simulation, Thinning, Diametric distribution model, Maximum likelihood method, Linear approximation method.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema de desbaste seletivo (a), sistemático (b) e misto (c).	19
Figura 2 – Projeções das distribuições diamétricas para as idades 40 e 50 meses, tendo como base inicial as frequências aos 27 meses (simulação 1) e os parâmetros Weibull ajustados pelos sistemas.	33
Figura 3 – Projeções das distribuições diamétricas para as idades 76, 87, 101, 112, 122 e 137, tendo como base inicial as frequências aos 61 meses (simulação 2) e os parâmetros Weibull ajustados pelos sistemas.	35
Figura 4 – Projeções das distribuições diamétricas para as idades 158 e 165 meses, tendo como base inicial as frequências observadas aos 147 meses (simulação 3) e os parâmetros Weibull ajustados pelos sistemas.	39
Figura 5 – Distribuições diamétricas remanescentes dos desbastes, observadas e projetadas pelos sistemas aos 61 meses, tendo como base inicial as frequências observadas aos 27 meses (simulação 4) e 50 meses (simulação 5) e os parâmetros Weibull ajustados pelos sistemas. ...	41
Figura 6 – Distribuições diamétricas remanescentes dos desbastes, observadas e projetadas pelos sistemas, aos 147 e 165 meses, tendo como base inicial as frequências observadas aos 27 meses (simulação 4), 50 meses (simulação 5) e 61 meses (simulação 6) e os parâmetros Weibull ajustados pelos sistemas.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Simulações realizadas no processamento	26
Tabela 2 – Comparação entre as distribuições diamétricas observadas e projetadas pelos sistemas, empregando-se o F de Graybill.	46
Tabela 3 – Percentual das projeções não significativas e significativas, considerando as intensidades de desbastes de 20%, 35% e 50%, conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov a 1% de significância.....	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Modelos de distribuição diamétrica	12
2.1.1 <i>Função Weibull</i>	13
2.1.2 <i>Outras funções densidade de probabilidade</i>	14
2.2 Desbaste	17
2.3 Simulação de desbaste	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Fonte dos dados.....	22
3.2 Modelo de distribuição diamétrica	22
3.3 Simulação de desbaste	26
3.4 Aplicativo computacional	27
3.5 Avaliação das projeções	30
4. RESULTADOS	32
5. DISCUSSÃO	50
6. CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
APÊNDICE	62

1 INTRODUÇÃO

Algumas técnicas silviculturais intervêm em fatores ambientais, no intuito de propiciar melhores condições para o desenvolvimento da floresta, por exemplo o desbaste (FINGER; SCHNEIDER, 1999; SCHNEIDER et al., 1998), que ocasiona maior disponibilidade de nutriente e luz para as árvores remanescentes (GLUFKE; FINGER; SCHNEIDER, 1997; SOARES et al., 2003).

O desbaste consiste na retirada de indivíduos do povoamento, para reduzir a densidade populacional, o qual favorece árvores com maiores diâmetros, troncos uniformes e produção contínua de madeira (CAMPOS; LEITE, 2013). Após a realização dessa prática silvicultural, ocorrem novas tendências de crescimento e produção no povoamento (LEITE et al., 2005).

Os padrões de crescimento de um povoamento, juntamente com os fatores ambientais e as técnicas de manejo são elementos basilares para um efetivo manejo (BARTOSZECK et al., 2004). Diante de interferências de técnicas silviculturas, como o desbaste, sobre povoamentos florestais, utilizam-se modelos estatísticos para avaliar esses efeitos.

Os modelos empregados para o estudo desses efeitos são denominados modelos biométricos ou descritivos cuja finalidade é descrever o comportamento do povoamento florestal frente à efeitos ambientais e tratos silviculturais, baseando-se em variáveis que se relacionam com o crescimento e a produção das árvores, como idade, área basal e capacidade de sitio (ABREU et al., 2002).

Pode-se destacar dentre estes, os modelos em nível de povoamento e de distribuição diamétrica (DIAS, 2000), sendo o último mais adequados para estimar a produção de povoamentos desbastados (LEITE et al., 2006). Isso ocorre devido os modelos em nível de povoamento estimarem de forma generalista, não propiciando variáveis necessárias para avaliação econômica de multiprodutos, características essas supridas pelo modelo de distribuição diamétrica (NOGUEIRA et al, 2005), os quais, também, são flexíveis para simulações de desbaste (BURKHART; CAO; WARE, 1981, GONZALEZ et al., 2002).

Os modelos de crescimento e produção devem ser reputados conforme alguns fatores, como a precisão, flexibilidade, realismo biológico e simplicidade (CAMPOS; LEITE, 2013; SOARES et al., 1995). Segundo estes autores, espera-se que os modelos sejam congruentes com a tendência de crescimento.

Os modelos de distribuição diamétrica avaliam mudanças no crescimento de povoamentos florestais (SOARES et al., 2007). A qual se faz necessário a utilização de uma função densidade de probabilidade (f.d.p.) para obtenção das frequências dos indivíduos presentes em cada classe diamétrica (BURKHART; CAO; WARE, 1981).

A maioria dos estudos divulgados na literatura, envolvendo avaliação de modelos de distribuição diamétrica em povoamentos equiâneos desbastados, compara os valores observados com os preditos pelo modelo empregando-se como base dados observados antes e depois do desbaste. Portanto, existem poucos estudos onde os valores observados são comparados com os valores projetados pelo modelo empregando-se como base apenas os dados observados antes do primeiro desbaste, o que permite uma avaliação mais precisa do ponto de vista biológico do modelo de distribuição diamétrica.

O objetivo desse trabalho foi definido de acordo com as seguintes hipóteses: H_{01} : as simulações realizadas pelos modelos de distribuição diamétrica apresentaram realismo estatístico e biológico; H_{a1} : não H_{01} ; H_{02} : os modelos projetam com eficiência as distribuições diamétricas futuras, baseando-se apenas em uma distribuição média observada; H_{a2} : não H_{02} .

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Modelos de distribuição diamétrica

A distribuição diamétrica é um atributo eficaz e simples de se obter em um povoamento florestal, com intuito de contribuir no plano de manejo (BARTOSZECK, et al., 2004, SOARES et al., 2007). Ela possibilita um adequado manejo, por captar os diversos elementos que atuam no crescimento (BARTOSZECK, et al., 2004).

Dentre outras possibilidades, essa distribuição permite a elaboração de modelos de distribuição de diâmetros (MDD), os quais predizem o número de indivíduos por hectare por classe diamétrica nas idades presente e futura (CAMPOS; LEITE, 2013). Possibilita estimar o crescimento atual e futuro a fim de planejar e tomar decisões (SOARES, et al., 2007), além de permitir que o manejador conheça a estrutura do povoamento mais detalhadamente (NORD-LARSEN; CAO, 2006).

O MDD é aconselhável para prognosticar a produção de povoamentos desbastados, dentre os demais modelos de crescimento e produção (LEITE et al., 2006), visto que não só apresenta maior flexibilidade para avaliar a simulação de desbaste, mas também propicia a avaliação econômica de multiprodutos (BURKHART; CAO; WARE, 1981).

Para elaboração desses modelos faz-se necessário bases de dados representativas do povoamento, oriundo de parcelas permanentes ou análise de tronco. As parcelas permanentes fornecem dados mais eficientes para modelos de crescimento e produção, pois acompanham os padrões de crescimento dos povoamentos. Quanto a análise de tronco, é uma fonte de dados limitada, já que não contabiliza a mortalidade e não é eficiente, normalmente, em folhosas (CAMPOS; LEITE, 2013).

Os modelos de distribuição de diâmetro utilizam uma função densidade de probabilidade (f.d.p), a qual prediz o crescimento e produção por classe diamétrica (CAMPOS; LEITE, 2013; KNOEBEL; BURKHART; BECK, 1988; LEITE et al, 2013; NOGUEIRA et al., 2005).

A f.d.p prediz as frequências relativas e/ou absolutas da variável em estudo (CAMPOS; LEITE, 2013). Algumas dessas funções utilizadas no setor florestal são a distribuição Gama, Beta, Hiperbólica, SB de Johnson, Weibull de dois e três parâmetros (CAMPOS; LEITE, 2013; NASCIMENTO et al., 2012).

2.1.1 Função Weibull

A função Weibull é a mais difundida dentre as funções densidade de probabilidade, na modelagem de florestas (CAMPOS; LEITE, 2013; KNOEBEL; BURKHART; BECK, 1988; SOARES et al, 2011; SOARES et al., 2007). Isso ocorre devido ao seu comportamento flexível (mapeando diferentes tendências de distribuição), a sua facilidade de ajuste e boa correlação dos parâmetros com as variáveis do povoamento (BAILEY; DELL, 1973).

Por meio dos trabalhos desenvolvidos no setor florestal, nota-se que as funções Weibull mais difundidas são a de três parâmetros (ACERBI JÚNIOR et al, 2002; BINOTI et al., 2010; CAO, 2004; SCOLFORO et al., 2001), de dois parâmetros (ARAUJO JÚNIOR et al., 2010; ARCE, 2004; GOVE; FAIRWEATHER, 1989) e truncada à direita (BINOTI et al., 2012):

$$f(x) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^{\gamma-1} * e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^{\gamma}} \quad (\text{Função Weibull de três parâmetros}) \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x}{\beta} \right)^{\gamma-1} * e^{-\left(\frac{x}{\beta} \right)^{\gamma}} \quad (\text{Função Weibull de dois parâmetros}) \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{\frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^{\gamma-1} * e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^{\gamma}}}{1 - e^{-\left(\frac{T-\alpha}{\beta} \right)^{\gamma}}} \quad (\text{Função Weibull truncada à direita}) \quad (3)$$

$$T > 0, \alpha \geq 0, \beta > 0, \gamma > 0 \text{ e } x > 0$$

onde:

γ = parâmetro de forma;

β = parâmetro de escala;

α = parâmetro de locação;

T = limite superior da maior classe de diâmetro, em cm;

x = centro da classe de diâmetro, cm.

O parâmetro de locação (α) pode ser substituído pelo diâmetro mínimo ou pelo limite inferior da menor classe diamétrica (BINOTI et al., 2012; BINOTI et al., 2010; CAMPOS; LEITE, 2013; PASCOA, 1987), sendo este pré-determinado ou predito por meio de regressão (CAMPOS; LEITE, 2013). Conforme Rustagi (1977), o parâmetro de locação da função não afeta a precisão das estimativas, possibilitando assim igualá-lo a zero.

Define-se o parâmetro de escala (β) como uma medida de amplitude dos dados estudados (PASCOA, 1987). Quanto ao parâmetro de forma (γ), ele define a distribuição da função, para γ igual a 1 a distribuição é exponencial; se $1 < \gamma < 3,6$, é positivamente assimétrica; caso $\gamma=2$, gera-se a distribuição de Rayleigh; quando o γ é 3,6, aproxima-se de uma distribuição normal; e $\gamma > 3,6$, tende a uma assimetria negativa (CAMPOS; LEITE, 2013; CAO, 2006; NORD-LARSEN; PASCOA, 1987; SHIFLEY; LENTZ, 1985).

A função Weibull truncada à direita consiste em fixar um intervalo, a qual abrange o limite inferior do diâmetro mínimo e o limite superior do diâmetro máximo, para estimar as frequências nas classes diamétricas (SOARES et al, 2011). Segundo estes autores, esse método refina as estimativas, pois o truncamento define um intervalo baseado no diâmetro mínimo e máximo do povoamento.

Há diversos métodos para o ajuste dessa função, a saber o método de máxima verossimilhança, método dos percentis, método dos momentos, *simulated annealing*, redes neurais artificiais, regressão não-linear e aproximação linear (ABBASI et al, 2006; ABBASI; RABELO; HOSSEINKOUCHACK, 2008; CAMPOS; LEITE, 2013; CAO, 2004).

A máxima verossimilhança tem como intuito maximizar a soma dos logaritmos da verossimilhança (CAO, 2004). Esse método gera boas estimativas ao se predizer os parâmetros da função Weibull, uma vez que as técnicas computacionais otimizam ao ajuste destes parâmetros (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2010).

O método de aproximação linear apresenta menor desempenho ao se comparar com a máxima verossimilhança, conforme Campos e Leite (2013), no entanto, é de simples ajuste e mais didático (LEITE et al., 2010). Essa técnica é recomendada para obtenção inicial dos parâmetros da função (CAMPOS; LEITE, 2013).

2.1.2 Outras funções densidade de probabilidade

As funções gama, beta, hiperbólica e Sb de Johnson são algumas das funções de densidade e probabilidade difundidas no setor florestal. Cada uma dessas funções elencadas foram relatadas neste tópico.

A função gama foi desenvolvida por Leonard Euler, baseando-se em uma função fatorial (GUIMARÃES, 2002). Descrita na Equação 4, conforme descrita na metodologia de Arce (2004).

$$f(x) = \frac{x^{(\alpha-1)} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad (\text{Distribuição de dois parâmetros}) \quad (4)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty u^{(\alpha-1)} e^{-u} du \quad (\text{Função gama do parâmetro } \alpha) \quad (5)$$

onde:

α = parâmetros de forma;

β = parâmetro de escala;

Γ = função gama do parâmetro α ;

x = variável aleatória (diâmetro em cm);

e = variável de Euler.

Essa função densidade de probabilidade proporciona menor flexibilidade ao se comparar com as demais, possibilitando captar tendências de assimetria positiva (GUIMARÃES, 2002) e normal (ARAÚJO JÚNIOR et al, 2013).

A função beta utiliza dados normalizados para o intervalo 0 a 1, para obtenção direta dos parâmetros α e β (ARCE, 2004).

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)(b - a)^{(\alpha+\beta-1)}} (x - a)^{(\alpha-1)} (b - x)^{(\beta-1)} \quad (6)$$

onde:

α = parâmetros de forma;

β = parâmetros de escala;

Γ = função gama do parâmetro α ;

a = limite inferior da distribuição

b = limite superior da distribuição;

x = variável aleatória (diâmetro em cm).

Guimarães (2002) relata que a função beta apresenta algumas restrições em seu uso, elencando a inexistência de função cumulativa de densidade e não permitir estimativas para centro de classes nulas. A Equação 6, descritas por Guimarães (2002), ameniza essas limitações, devido a flexibilidade de escolher os limites da variável dependente (ARCE, 2004).

A função beta possibilita a flexibilização da curva de distribuição, ocasionando distribuição simétrica ($\alpha = \beta$), assimétrica negativa ($\alpha > \beta$) ou assimétrica positiva ($\alpha < \beta$) (GUIMARÃES, 2002).

Outra função densidade e probabilidade utilizada é a função Hiperbólica, a qual foi proposta por Guimarães (2002).

$$f(x) = \omega \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^{(\gamma-1)} \left\{ 1 - \tanh \left[\left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^\gamma \right]^2 \right\} \quad (7)$$

sendo:

ω = parâmetro assintótico;

α = parâmetro de alocação;

β = parâmetro de escala;

γ = parâmetro de forma;

x = centro de classe de diâmetro;

\tanh = função tangente hiperbólica.

A função hiperbólica apresenta grande flexibilidade da curva, podendo ter um ponto de inflexão até 0,76 (BINOTI et al., 2011; CAMPOS; LEITE, 2013).

Essa função resulta em bons ajustes de estruturas diamétricas para povoamentos de *Tectona grandis* submetida a desbaste, devido sua grande flexibilidade (BINOTI et al., 2011). Conclusões estas também obtidas por Leite et al. (2010), para povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste.

A função densidade de probabilidade, composta pela distribuição de Sb, consiste em conversões logarítmicas de uma distribuição normal (JOHNSON, 1949).

$$f(x) = \frac{\delta \lambda}{\sqrt{2\pi}(x - \varepsilon)(\varepsilon + \lambda - x)} e^{-\frac{1}{2} \left[\gamma + \delta \ln \left(\frac{x - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - x} \right) \right]^2} \quad (8)$$

sendo:

δ = parâmetro de forma (curtose);

λ = parâmetro de escala;

ε = parâmetro de locação (limite inferior);

γ = parâmetro de forma (assimetria);

x = centro de classe de diâmetro.

Conforme Scolforo e Thierschi (1998), há algumas amplitudes relacionadas aos parâmetros da função de Sb de Johnson. O parâmetro de escala representa a amplitude entre o menor e maior diâmetro do povoamento, o parâmetro de locação situa-se em um valor inferior ao diâmetro mínimo.

Estes autores relatam que esta função resulta em boas estimativas volumétrica para povoamento de eucalipto, embora apresente limitações nas predições para povoamentos muito jovens.

2.2 Desbaste

O espaçamento entre árvores é um fator de grande relevância, o qual influencia no crescimento da copa e do fuste (PASCOA, 1987; PEREIRA; TOMASELLI, 2004). Ao passo que os indivíduos desenvolvem, reduz-se os espaços e aumenta-se a necessidade de nutriente e água, isto é, inicia-se a competição. Perante isso, faz-se necessário um trato silvicultural denominado desbaste (DIAS, 2000).

O desbaste consiste no corte de indivíduos, conforme uma proporção predefinida, para aumentar os espaços entre as árvores remanescentes, possibilitando maior incremento volumétrico destas (CAMPOS; LEITE, 2013; FINGER; SCHNEIDER, 1999; MÄKINEN; ISOMÄKI, 2004b). A remoção pode se basear na área basal, no volume e no número de indivíduos do povoamento, sendo o último pouco aconselhável (CAMPOS; LEITE, 2013; TREVISAN et al., 2007,).

Em povoamentos não desbastados, no decorrer dos anos, a competição entre as árvores vai se agravando, tendo a aproximação das copas, influenciando em todo o dossel do povoamento, efeitos estes que são amenizados com a intervenção da prática do desbaste (FINGER; SCHNEIDER, 1999).

Essa prática silvicultural também contribui na qualidade da madeira para fins energéticos, posto que melhora a biossíntese da lignina e de extrativos, no entanto, não há melhorias para produção de celulose e papel (ZANUNCIO et al., 2013).

O intuito de se utilizar esse trato silvicultural é otimizar o crescimento das árvores de maiores dimensões e minimizar a competição, obstando a absorção de água e nutriente por indivíduos suprimidos (DIAS, 2000).

Campos e Leite (2013) discorrem sobre alguns benefícios dessa prática, como a minimização de tempo para produção de fustes uniformes e de grandes dimensões e a melhoria do rendimento volumétrico no processamento volumétrico.

A intensidade do desbaste determina o comportamento do crescimento do povoamento (MÄKINEN; ISOMÄKI, 2004a; PEREIRA; TOMASELLI, 2004). No entanto, não interfere significativamente na produção bruta, salvo em intensidades de desbastes severas (CAMPOS; LEITE, 2013). Diante disso, é determinada conforme o objetivo da produção e os parâmetros técnicos e econômicos da espécie utilizada (SCHNEIDER, 1993), a qual se baseia em valores individuais das árvores (CAMPOS; LEITE, 2013).

Embora apresente muitas vantagens, deve-se atentar em alguns pontos, como os desbastes de altas intensidades que podem ocasionar danos bióticos, abióticos e nas propriedades da madeira, além de reduzir drasticamente o número de indivíduos remanescentes (MÄKINEN; ISOMÄKI, 2004b).

O desbaste afeta a mortalidade, o diâmetro quadrático e o volume do talhão, conforme Brooks e Bailey (1992). Segundo estes autores, o comportamento da mortalidade perante o desbaste é de redução, porém, é dependente do tipo de desbaste. Em relação ao diâmetro quadrático, há um aumento gradativo, ocorrendo a estabilização com a reocupação dos espaços, isto é, com o retorno da competição entre os indivíduos. Quanto ao volume do talhão, ocorre uma redução, em contrapartida a madeira apresentará um fim nobre, acarretando economicamente um maior retorno financeiro.

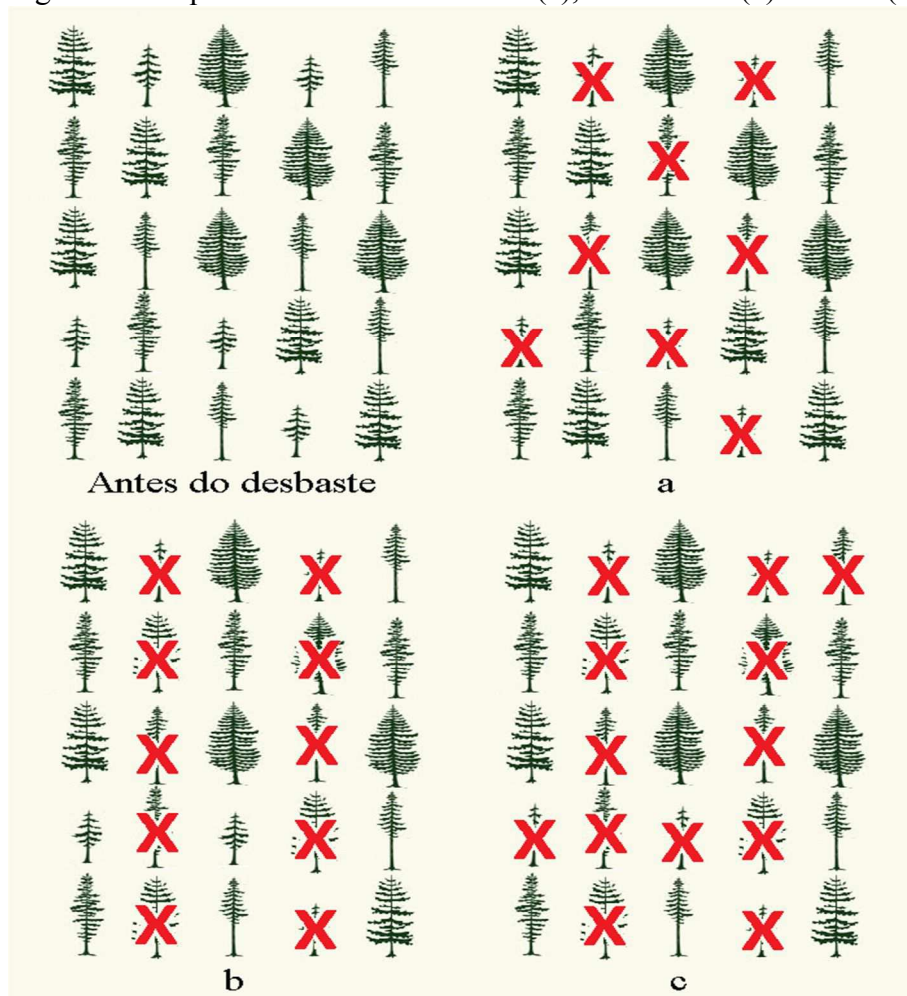
Para empregar essa técnica pondera-se alguns fatores, tais como: os objetivos do manejo; os espaçamentos iniciais; a capacidade produtiva do local; a mão de obra; dentre outros elementos relevantes para o sucesso do desbaste (CAMPOS; LEITE, 2013).

O desbaste pode ser categorizado como seletivo, sistemático e misto. Mas antes de discorrer sobre os tipos de desbastes, faz-se necessário abordar sobre a classificação das árvores de um povoamento, especificadas com relação à posição relativa das copas, como segue abaixo (SMITH, 1962):

- i) dominantes: as copas situam-se acima do nível geral do dossel do povoamento; as quais obtêm luz na parte superior e parcialmente nas laterais;
- ii) codominantes: obtêm luz na parte superior e escassa lateralmente;
- iii) intermediárias: recebem baixa luminosidade na parte superior e nenhuma na lateral;
- iv) suprimidas: não recebem luz diretamente.

O desbaste seletivo (FIG. 1a) remove indivíduos de acordo com a qualidade, geralmente, árvores suprimidas. O sistemático (FIG. 1b) elimina consoante um sistema predeterminado e não se considera a qualidade. A adoção de ambos os desbastes supracitados é definida como desbaste misto (FIG. 1c) (CAMPOS; LEITE, 2013).

Figura 1 – Esquema de desbaste seletivo (a), sistemático (b) e misto (c).



Atenta-se que o desbaste seletivo não se baseia apenas nos diâmetros, mas também em caracteres qualitativos, como tortuosidade e bifurcação (OLIVEIRA; MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 1998).

2.3 Simulação de desbaste

Os incrementos volumétricos futuros podem ser obtidos por modelos de crescimento e produção, baseando-se em povoamentos presentes. No entanto, estes modelos empregados devem ser avaliados e definidas suas restrições, com intuito de impedir resultados inconsistentes e tomadas de decisões errôneas (SOARES et al., 1995).

A simulação permite avaliar a flexibilidade e alguns aspectos biológicos do modelo utilizado para projetar a distribuição de indivíduos em diferentes classes diamétricas após os desbastes (LEITE et al., 2005; NOGUEIRA et al., 2006).

Os modelos empregados para simular o desbaste são os em nível de povoamento, como os modelos de Clutter e Buckman, ou de distribuição diamétrica, os quais resultam em projeções da distribuição (CAMPOS; LEITE, 2013).

Os modelos que descrevem o crescimento de um povoamento florestal abrange diversos componentes, os quais estão inter-relacionados. Sendo assim, a avaliação destes modelos devem abranger os diversos componentes que lhes inter-relacionam, com entendimento amplo dessas relações (SOARES et al., 1995).

As simulações ocorridas por modelos de distribuição diamétrica apresentam sistemas de equações para projetarem as distribuições diamétricas futuras com base em uma distribuição atual (CAMPOS; LEITE, 2013).

Pode-se implementar a simulação baseando-se na distribuição média diamétrica nas idades técnicas dos desbastes (LEITE et al., 2005; NOGUEIRA et al., 2006). As árvores remanescentes e desbastadas são obtidas considerando a redução da área basal ou da frequência de indivíduos, adotando um determinado tipo de desbaste (CAMPOS; LEITE, 2013; LEITE et al., 2005).

As simulações podem ser avaliadas considerando os resultados das projeções do crescimento e da produção do povoamento antes e após os desbastes. A maioria dos estudos envolvem avaliação de modelos de distribuição diamétrica que comparam os valores observados com os preditos ou projetados pelo modelo empregando-se como base dados observados antes e depois do desbaste (BINOTI et al., 2012; LEITE et al., 2005; NOGUEIRA et al., 2006; SOUZA, 2015). Existem poucos estudos onde os valores observados são comparados com os valores projetados pelo modelo empregando-se como base apenas os dados observados antes do primeiro desbaste, o que permite uma avaliação mais precisa do ponto de vista biológico do modelo de distribuição diamétrica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Fonte dos dados

Os modelos de distribuição diamétrica avaliados neste estudo foram ajustados a partir dos dados provenientes de um experimento implantado em um povoamento composto pelo híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, sob regime de desbaste, localizado no nordeste da Bahia, pertencente à empresa BAHIA SPECIALTY CELLULOSE.

O delineamento experimental foi composto por blocos casualizados com repetições entre os blocos, cujos tratamentos do experimento consistiram no desbaste seletivo de 20% (tratamento 1), 35% (tratamento 2) e 50% (tratamento 3) da área basal, suprimindo as árvores menores e defeituosas, nas idades 58 e 142 meses, em média. Foram instaladas 48 parcelas permanentes retangulares, com aproximadamente 2.600 m², em três locais com capacidades produtivas diferentes (16 parcelas em cada local). O espaçamento inicial entre plantas era de 3x3 m².

Nas parcelas foram mensuradas: o diâmetro na altura do peito de todas as árvores; a altura total de aproximadamente 15 árvores aleatórias; altura total de 5 árvores dominantes; a qualidade das árvores (bifurcada, normal, dominante, morta e colhida). A descrição detalhada deste experimento pode ser obtida em Nogueira et al. (2015).

Os dados utilizados para ajustar os modelos foram obtidos nas idades 27, 40, 50, 61, 76, 87, 101, 112, 122, 137, 147, 158 e 165 meses.

3.2 Modelo de distribuição diamétrica

Foram avaliados as performances dos modelos desenvolvidos por Nogueira (2003) e por Binoti et al (2010), construídos para projetar estruturas diamétricas de povoamentos desbastados e não-desbastados de eucalipto.

O modelo elaborado por Nogueira (2003) é composto pelo seguinte sistema:

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-\theta_1(I_2^{\theta_2} - I_1^{\theta_2})} * \varepsilon \quad (9)$$

$$\ln \gamma_2 = \ln \gamma_1 e^{-(\theta_3)(I_2^{\theta_4} - I_1^{\theta_4})} * \varepsilon \quad (10)$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \theta_5 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 + \varepsilon \quad (11)$$

$$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \theta_6 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dmax_2 + \varepsilon \quad (12)$$

$$N_2 = N_1 e^{-\theta_7(I_2^{\theta_8} - I_1^{\theta_8})} * \varepsilon \quad (\text{Antes do desbaste}) \quad (13)$$

$$N_2 = N_1 \quad (\text{Após desbaste}) \quad (14)$$

sendo:

I_2 = idade futura, em meses;

I_1 = idade atual, em meses;

γ_2 = parâmetro de forma da função Weibull em uma idade futura;

γ_1 = parâmetro de forma da função Weibull em uma idade atual;

β_2 = parâmetro de escala da função Weibull em uma idade futura;

β_1 = parâmetro de escala da função Weibull em uma idade atual;

θ_i = parâmetros dos modelos;

$dmax_2$ = diâmetro máximo em uma idade futura, em cm;

$dmax_1$ = diâmetro máximo em uma idade atual, em cm;

$dmin_2$ = diâmetro mínimo em uma idade futura, em cm;

$dmin_1$ = diâmetro mínimo em uma idade atual, em cm;

N_2 = número de árvores por ha em uma idade futura;

N_1 = número de árvores por ha em uma idade atual;

e = base neperiana;

\ln = logaritmo neperiano;

ε = erros aleatórios independentes, com média zero e variância constante.

Este modelo se baseia em regressões lineares e não lineares para projeções das distribuições diamétricas. Empregam-se os parâmetros da função Weibull e atributos do povoamento, sendo a idade, diâmetro máximo, diâmetro mínimo e número de árvores (NOGUEIRA et al. 2005).

O modelo proposto por Binoti et al (2010) é composto pelo seguinte sistema de equações:

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-\theta_1(I_2^{\theta_2} - I_1^{\theta_2})} * \varepsilon \quad (15)$$

$$\ln \gamma_2 = \theta_3 e^{-(\theta_4)(I_2^{\theta_5} - I_1^{\theta_5})} + \theta_6 \beta_2 + \theta_7 \ln \gamma_1 + \varepsilon \quad (16)$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \theta_8 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) q_1 + \varepsilon \quad (17)$$

$$\ln \beta_2 = \ln \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \theta_9 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dmax_2 + \varepsilon \quad (18)$$

$$N_2 = N_1 e^{-\theta_{10}(I_2^{\theta_{11}} - I_1^{\theta_{11}})} * \varepsilon \quad (\text{Antes do desbaste}) \quad (19)$$

$$N_2 = N_1 \quad (\text{Após desbaste}) \quad (20)$$

onde:

q_1 = diâmetro médio em uma idade atual, em cm.

Salienta-se que os dois modelos avaliados não consideraram a mortalidade após o desbaste, porquanto, desconsideraram a mortalidade natural das árvores, os quais, segundo Leite et al. (2005) e Campos e Leite (2013), satisfazem um dos objetivos desse trato silvicultural.

Os parâmetros de escala (β) e forma (γ), foram obtidos por meio da função Weibull de dois parâmetros, cuja função é definida da seguinte forma:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^\gamma}, & \text{para } \alpha \leq x < \infty \\ 0, & \text{para outros valores de } x \end{cases} \quad (21)$$

em que:

α = parâmetro de locação;

β = parâmetro de escala;

γ = parâmetro de forma;

x = centro da classe de diâmetro, sendo $x \geq 0$, $\beta > 0$ e $\gamma > 0$.

As distribuições foram agrupadas em classes diamétricas com amplitudes de 2 centímetros, consoante com os trabalhos de Souza (2015) e Araújo Júnior et al. (2010). Eliminou-se o parâmetro de locação da função, em razão de não afetar a precisão das estimativas, conforme Rustagi (1977).

As equações referentes aos parâmetros de escala (β) e de forma (γ) foram ajustados empregando-se os métodos de aproximação linear e da máxima verossimilhança modelos. Dessa forma, denominou-se de sistema 1 quando foi utilizado o modelo proposto por Nogueira (2003), sendo o ajuste dos parâmetros da função Weibull ajustados pelo método de aproximação linear. Denominou-se de sistema 2 quando se utilizou o modelo proposto por Nogueira (2003) com os parâmetros da função Weibull ajustados pelo método da máxima verossimilhança. E de sistema 3 quando se empregou o modelo desenvolvido por Binoti et al. (2010) e os parâmetros da função Weibull ajustados pelo método da máxima verossimilhança. Os sistemas utilizados no presente trabalho foram ajustadas por Souza (2015), sendo:

Sistema 1

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-(0,004152)(I_2^{1,090492} - I_1^{1,090492})} \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,8371 \quad (22)$$

$$\ln \gamma_2 = \ln \gamma_1 e^{-(111,941850)(I_2^{-0,000189} - I_1^{-0,000189})} \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,3879 \quad (23)$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 2,004974 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,9791 \quad (24)$$

$$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 1,136966 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dmax_2 \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,9818 \quad (25)$$

$$N_2 = N_1 e^{-(273,789776)(I_2^{0,000031} - I_1^{0,000031})} \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,9960 \quad (26)$$

Sistema 2

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-(0,004152)(I_2^{1,090492} - I_1^{1,090492})} \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,8371 \quad (27)$$

$$\ln \gamma_2 = \ln \gamma_1 e^{-(111,955491)(I_2^{-0,000808} - I_1^{-0,000808})} \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,5846 \quad (28)$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 1,873855 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,9815 \quad (29)$$

$$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 1,180514 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dmax_2 \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,9888 \quad (30)$$

$$N_2 = N_1 e^{-(273,789776)(I_2^{0,000031} - I_1^{0,000031})} \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,9960 \quad (31)$$

Sistema 3

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-(0,004152)(I_2^{1,090492} - I_1^{1,090492})} \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,8371 \quad (32)$$

$$\ln \gamma_2 = 1,062149 e^{-(1189,309848)(I_2^{0,000108} - I_1^{0,000108})} + 0,040613 \beta_2 + 0,251033 \ln \gamma_1 \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,7782 \quad (33)$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 1,969967 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) q_1 \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,9811 \quad (34)$$

$$\ln \beta_2 = \ln \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 0,172923 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dmax_2 \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,9609 \quad (35)$$

$$N_2 = N_1 e^{-(273,789776)(I_2^{0,000031} - I_1^{0,000031})} \quad R_{\hat{Y}Y} = 0,9960 \quad (36)$$

Os sistemas avaliados permitem projetar a distribuição diamétrica em idades futuras baseando-se em uma distribuição inicial observada (antes do primeiro desbaste, aos 27 meses, entre o primeiro e segundo desbaste, aos 61 meses e após o segundo desbaste, aos 147 meses) ou estimada pelo sistema de equações após simulação de desbaste.

Segundo Souza (2015), o parâmetro de forma (γ) predito por estes sistemas é inversamente proporcional à competição, isto é, há uma redução gradativa no decorrer dos

anos. Os parâmetros de escala (β) possuem alta relação com o diâmetro médio quadrático, acarretando um aumento dessa variável no decorrer dos anos.

O valor central da última classe diamétrica projetada consistiu no diâmetro máximo acrescido em duas classes diamétricas, conforme sugerido por Leite et al. (2005). O diâmetro máximo foi obtido pelas equações 24, 29 e 34. O valor inferior da menor classe concerne no diâmetro mínimo, obtido por meio das equações 22, 27 e 32.

3.3 Simulação de desbaste

A simulação de desbaste teve como base inicial uma distribuição de diâmetros observada (dados reais) e estimada (recuperação dos parâmetros pelos sistemas de equações) (TAB. 1).

Tabela 1 – Simulações realizadas no processamento

Simulações não englobando os desbastes			Simulações englobando os desbastes		
Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3	Simulação 4	Simulação 5	Simulação 6
27* p/ 40	61* p/ 76	147* p/ 158	27* p/ 61	50* p/ 61	61* p/ 147
40 p/ 50	76 p/ 87	158 p/ 165	61 p/ 147	61 p/ 147	147 p/ 165
	87 p/ 101		147 p/ 165	147 p/ 165	
	101 p/ 112				
	112 p/ 122				
	122 p/ 137				

*Distribuição diamétrica inicial observada

Nas simulações 1, 2 e 3 foram projetadas as distribuições diamétricas para as mesmas idades de medição do experimento empregando-se como base inicial a distribuição média observada anterior ao primeiro desbaste (simulação 1) e as distribuições imediatamente após os desbastes (simulações 2 e 3), ou seja, nessas situações não foram realizadas simulações de desbastes. Os resultados das projeções foram comparados com os valores observados. Essas simulações tiveram como intuito observar a aderência dos sistemas desconsiderando os desbastes.

Assim, na simulação 1 empregou-se a distribuição diamétrica média observada aos 27 meses como base inicial para projetar as distribuições para as idades de 40 e 50 meses (antes do primeiro desbaste). Na simulação 2 empregou-se a distribuição média observada aos 61 meses (após o primeiro desbaste) como base inicial para projetar as distribuições para as

idades 76, 87, 101, 112, 122 e 137 meses. Na simulação 3 empregou-se a distribuição média observada aos 147 meses (após o segundo desbaste) como base inicial para projetar as distribuições para as idades 158 e 165 meses.

Nas simulações 4, 5 e 6 foram realizadas simulações de desbastes respeitando de fato o que ocorreu no experimento, ou seja, foram simuladas as intensidade de desbaste, 20%, 35% e 50% da redução na área basal, nas idades 61, 147 e 165 meses, eliminando-se as menores árvores (desbaste seletivo). Nessas situações empregou-se uma distribuição média observada antes dos desbastes como base inicial para as projeções. Em seguida foram simulados os desbastes nas idades previstas empregando-se um aplicativo computacional. Foram realizadas as projeções empregando-se a distribuição estimada remanescente do desbaste como base inicial para projetar as distribuições para idades subsequentes. Os resultados das projeções foram comparados com os valores observados. Essas simulações objetivaram uma avaliação coesa dos sistemas para a realização das distribuições diamétricas futuras.

Nas simulações 4 e 5 empregaram-se, respectivamente, as distribuições médias observadas aos 27 e 50 meses como base inicial para os modelos de distribuição de diâmetros projetar as distribuições de diâmetros até a idade do primeiro desbaste (61 meses). Na simulação 6 foi utilizada como base inicial a distribuição média observada aos 61 meses para projeção das distribuições de diâmetros para a idade do segundo desbaste (147 meses). Empregou-se a aplicação computacional para simular os desbastes seletivos (20, 30 e 50%) aos 61 meses (primeiro desbaste) e 147 meses (segundo desbaste) e os modelos de distribuição de diâmetros para projetar as distribuições remanescentes para as idades subsequentes (mesmas medidas no campo) até 165 meses.

Essas simulações foram implementadas com o intuito de analisar o comportamento, do ponto de vista biológico, das projeções das distribuições diamétricas antes e após o desbastes, tendo como referência os dados reais obtidos durante as medições das parcelas experimentais.

3.4 Aplicativo computacional

A aplicação computacional para simulação de desbaste foi desenvolvida empregando-se a linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA) e a plataforma o aplicativo *Microsoft Excel* da suíte *Microsoft Office*, o qual possibilita o agrupamento de dados (APÊNDICE A) e a simulação de desbaste.

Os dados podem ser importados de uma planilha do Microsoft Excel (.xls ou .xlsx) (APÊNDICES B e C), existindo a possibilidade de importar tanto dados de árvores individualizadas (diâmetro de cada árvore) quanto dados agrupados (número de indivíduos por hectare por classe de diâmetro). No caso da importação de dados individualizados, o programa permite agrupar os dados para diferentes amplitudes de classes de diâmetros.

Para simulação de desbaste é necessário ajustar a função Weibull aos dados da distribuições remanescentes dos desbastes. O programa permite ajustar pelo método da aproximação linear e pelo método da máxima verossimilhança (APÊNDICE D).

O ajuste da f.d.p pelo método da aproximação linear realizado pelo aplicativo consiste no ajuste do modelo linear, conforme descrito na Equações 37, 38 e 39 (CAMPOS; LEITE, 2013):

$$\ln\{-\ln[1 - F(x_i)]\} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln x + \varepsilon \quad (37)$$

$$\gamma = \alpha_1 \quad (38)$$

$$\beta = e^{-(\alpha_0/\alpha_1)} \quad (39)$$

onde:

x_i = valor central da classe diamétrica;

$F(x_i)$ = probabilidades acumuladas;

α_i = parâmetros do modelo linear.

O método da máxima verossimilhança baseado no algoritmo referido nas Equações 40 e 41, conforme proposto por Gove e Fairweather (1989):

$$\left[\frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i^\gamma \ln x_i}{\sum_{i=1}^n f_i x_i^\gamma} - \frac{1}{\gamma} \right] - \frac{\sum_{i=1}^n f_i \ln x_i}{n} = 0 \quad (40)$$

$$\hat{\beta} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i^{\hat{\gamma}}}{n} \right]^{1/\hat{\gamma}} \quad (41)$$

sendo:

x_i = valor central da classe diamétrica;

f_i = frequência de árvores nas classes diamétricas;

n = número total de árvores.

Emprega-se o *solver* do aplicativo *Microsoft Excel* para obtenção do parâmetro de forma (γ), obtido por meio de iterações. Após a obtenção do γ , obtêm-se o parâmetro de escala (β) de forma direta.

As predições do número de árvores nas classes diamétricas são realizadas pela Equação 42 (CAMPOS; LEITE, 2013):

$$F(x - I < x \leq x + I) = N * \left[e^{-\left(\frac{x-I}{\beta}\right)^{\gamma}} - e^{-\left(\frac{x+I}{\beta}\right)^{\gamma}} \right] \quad (42)$$

sendo:

x = valor central da classe diamétrica;

I = metade da amplitude;

N = número total de árvores.

O número de árvores preditas para as classes diamétricas são corrigidas, quando o número total estimado for diferente do real, distribuindo proporcionalmente em todas as classes essa diferença (CAMPOS; LEITE, 2013).

A obtenção dos diâmetros mínimo e máximo futuros, do número de árvores por hectare em uma idade futura e dos parâmetros da função Weibull futuros foi por meio dos sistemas de Nogueira (2003) e Binoti et al (2010). As projeções do diâmetro mínimo futuro e número de árvores por hectare futuro foram obtidas por um modelo para cada uma dessas variáveis, os quais são coincidentes em ambos os sistemas. Para o diâmetro máximo futuro, parâmetro de escala futuro e parâmetro de forma futuro apresentam dois modelos cada variável elencada.

O diâmetro mínimo presente foi considerado o diâmetro inferior da menor classe diamétrica do povoamento.

O software permite simular dois tipos de desbastes: o seletivo e o sistemático. O seletivo consiste na remoção dos indivíduos com menores dimensões diamétricas, tendo como referência a intensidade de desbaste descritas nas caixas de texto presentes no *userform*, descrito no Apêndice E, e o sistemático, na retirada de indivíduos na mesma proporção em todas as classes diamétricas até suprir a intensidade requerida.

A intensidade de desbaste é baseada nas áreas basais das classes diamétricas, as quais são calculadas pelo método do ponto médio, desenvolvido por Gove e Patil (1998), conforme descrito na Equação 43:

$$B_i = \frac{\pi x_i^2}{40000} * N_i \quad (43)$$

onde:

B_i = área basal na i -ésima classe diamétrica (m^2/ha);

x_i = valor central da i -ésima classe diamétrica (cm);

N_i = número de árvores na i-ésima classe diamétrica (arv/ha).

A aplicação computacional permite simular até seis desbastes, nos quais as intensidades podem variar de 0% a 100% das áreas basais da distribuição diamétrica do povoamento. Os resultados das simulações são apresentados graficamente em duas abas (APÊNDICES F e G), sendo possível gerar relatórios com a extensão pdf. É possível também analisar o comportamento da distribuição diamétrica ao longo do tempo com e sem a realização de desbaste e, com isso, avaliar o modelo de distribuição diamétrica do ponto de vista do realismo biológico.

A aba denominada Desbaste (APÊNDICE G) ilustra graficamente e numericamente as frequências das classes diamétricas remanescente e desbastada. Outra observação é a possibilidade da análise dessas distribuições com o eixo das coordenadas sendo número de árvores por hectare ou área basal por hectare. Além da exportação do relatório em formato de pdf (APÊNDICE H).

3.5 Avaliação das projeções

As projeções obtidas pelos sistemas foram confrontadas com as distribuições diamétricas observadas, por meio do teste de aderência Kolmogorov-Smirnov a 1% de significância.

Este teste não paramétrico consiste em avaliar se uma amostra pertence a uma população com uma determinada distribuição teórica. A avaliação baseia-se no maior desvio entre as frequências acumuladas da amostra e da distribuição teórica (VIALI, 2008). Sendo:

$$D = \max |F_o(x) - F_e(x)| \quad (44)$$

em que:

D = estatística do teste (diferença máxima absoluta);

$F_o(x)$ = frequência acumulada observada;

$F_e(x)$ = frequência acumulada projetada.

Tendo como hipóteses:

H_0 : as distribuições projetadas seguiram o comportamento das distribuições observadas.

H_1 : não H_0 .

As projeções também foram confrontadas por meio do teste estatístico F Graybill (GRAYBILL, 1976), com nível de significância de 5%, com intuito de averiguar a identidade entre os sistemas e as distribuições, avaliando-se as seguintes hipóteses:

H_0 : A projeção da distribuição diamétrica obtida pelos sistemas são iguais à real.

H_1 : não H_0 .

O F de Graybill avalia simultaneamente b_0 e b_1 , em que: $H_0: \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$. Para testar a hipótese elencada, utiliza-se a estatística F de Graybill, conforme Equação 46 (LEITE; OLIVEIRA, 2002).

$$F(H_0) = \frac{(\beta - \theta)'(Y'Y)(\beta - \theta)}{2QM_{\text{res}}} \quad (45)$$

em que:

$\beta = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \end{bmatrix}$ (vetor de coeficientes da equação de regressão);

$\theta = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$;

$Y_I'Y_I = \begin{bmatrix} n & \sum Y_I \\ \sum Y_I & \sum Y_I^2 \end{bmatrix}$;

$F(H_0)$ = estatística do teste;

QM_{res} = quadrado médio do resíduo;

A relação existe entre as projeções realizadas pelos sistemas (Y_j) e as distribuições diamétricas observadas (Y_i) foi dada por meio da expressão:

$$Y_j = b_0 + b_1 Y_i + \varepsilon \quad (46)$$

em que:

Y_j = variável estimada;

Y_i = variável observada;

b_0 = coeficiente linear;

b_1 = coeficiente angular.

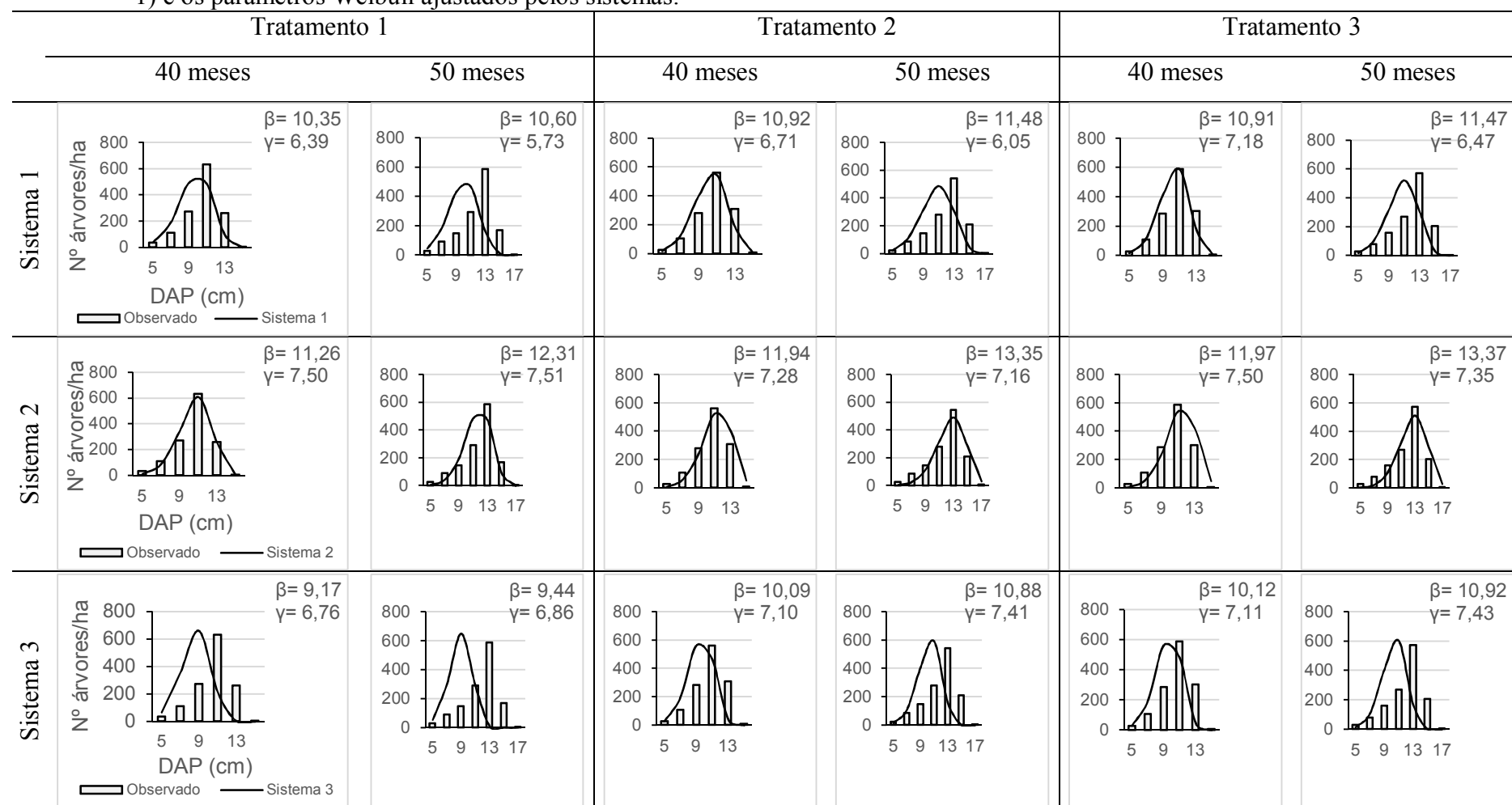
4 RESULTADOS

As projeções realizadas pelos sistemas 1, 2 e 3 para as idades futuras 40 e 50 meses (simulação 1), considerando a distribuição observada aos 27 meses, apresentaram distribuições diamétricas próximas às observadas, destacando-se o sistema 2, devido a sua maior exatidão quando comparada aos demais sistemas, (FIG. 2).

As estimativas dos parâmetros de escala e de forma nos sistemas 1 e 2 propiciaram comportamentos semelhantes, tendo um decréscimo no parâmetro de forma e um acréscimo no parâmetro de escala ao longo do tempo. Para o sistema 3 verifica-se um aumento nos valores ao longo das idades.

Os parâmetros de escala preditos pelos sistemas não foram destoantes entre si dentro das intensidades de desbaste. O sistema 3 apresentou os menores valores, corroborando para a subestimação da distribuição mais acentuada que os demais.

Figura 2 – Projeções das distribuições diamétricas para as idades 40 e 50 meses, tendo como base inicial as frequências aos 27 meses (simulação 1) e os parâmetros Weibull ajustados pelos sistemas.



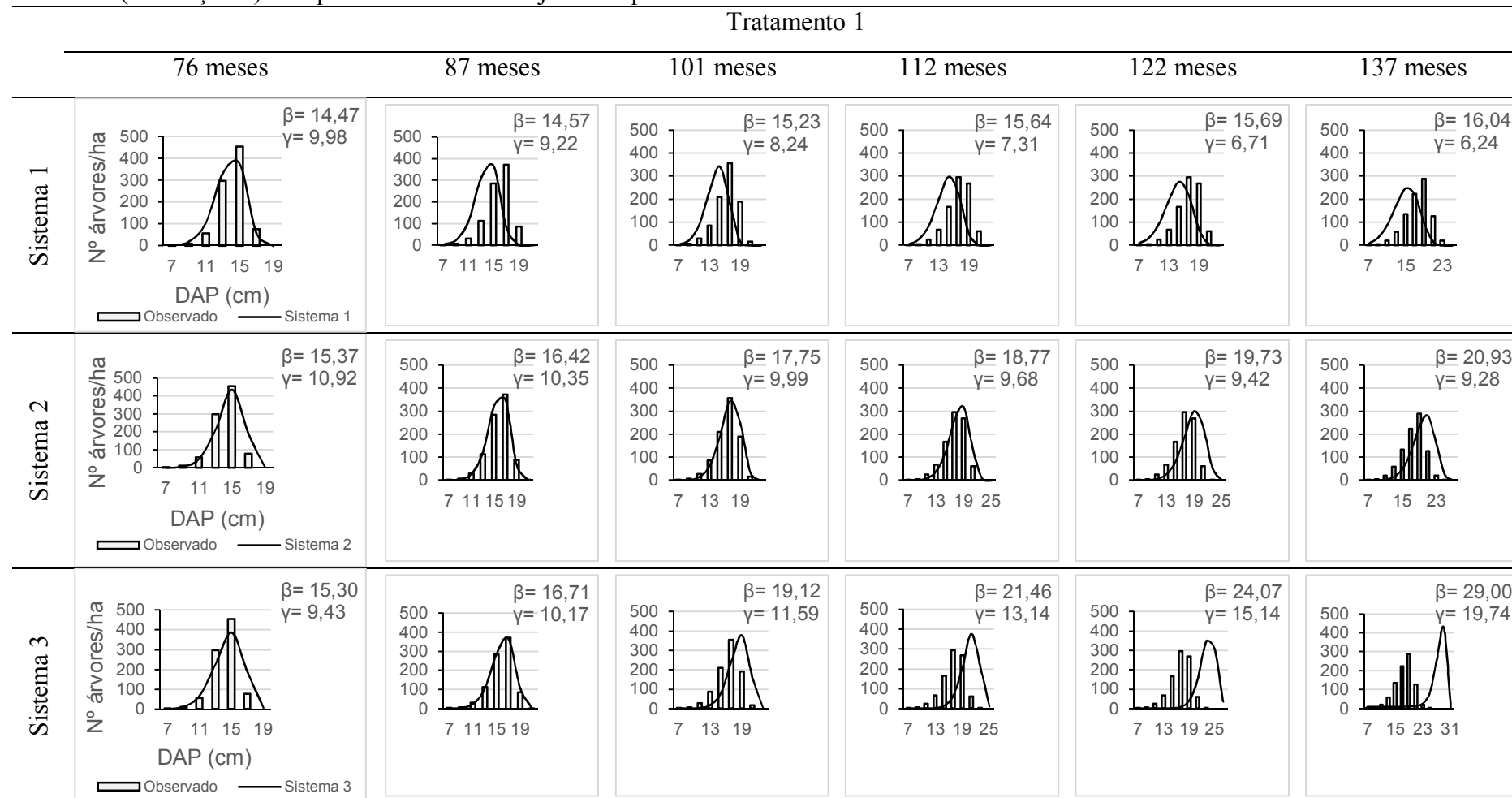
Nas idades entre o primeiro e o segundo desbaste (simulação 2), tendo a distribuição diamétrica média observada aos 61 meses, o sistema 2 forneceu distribuições mais próximas aos valores reais em todas as idades entre o primeiro e o segundo desbaste (FIG. 3).

As distribuições projetadas pelo sistema 1 tiveram tendências de subestimação diamétrica, em relação à distribuição real, característica essa que se acentuou com o passar dos meses. Relaciona-se a isso, a pequena variação do parâmetro de escala da idade de 76 meses a 137 meses.

As simulações realizadas pelo sistema 3 geraram um comportamento inverso dos parâmetros de escala no decorrer dos anos, tendo em vista a simulação 1. Este sistema apresentou aumento gradativo deste parâmetro, ocasionando uma superestimação das projeções. Em consequência a isso, as estruturas diamétricas projetadas para as idades 112, 122 e 137 meses tenderam a um deslocamento à esquerda na distribuição diamétrica, com parâmetros da função Weibull destoantes dos outros dois sistemas. No entanto, as demais idades apresentaram comportamentos diferentes, com ajustes bons e valores das estimativas dos parâmetros próximos aos sistemas 1 e 2.

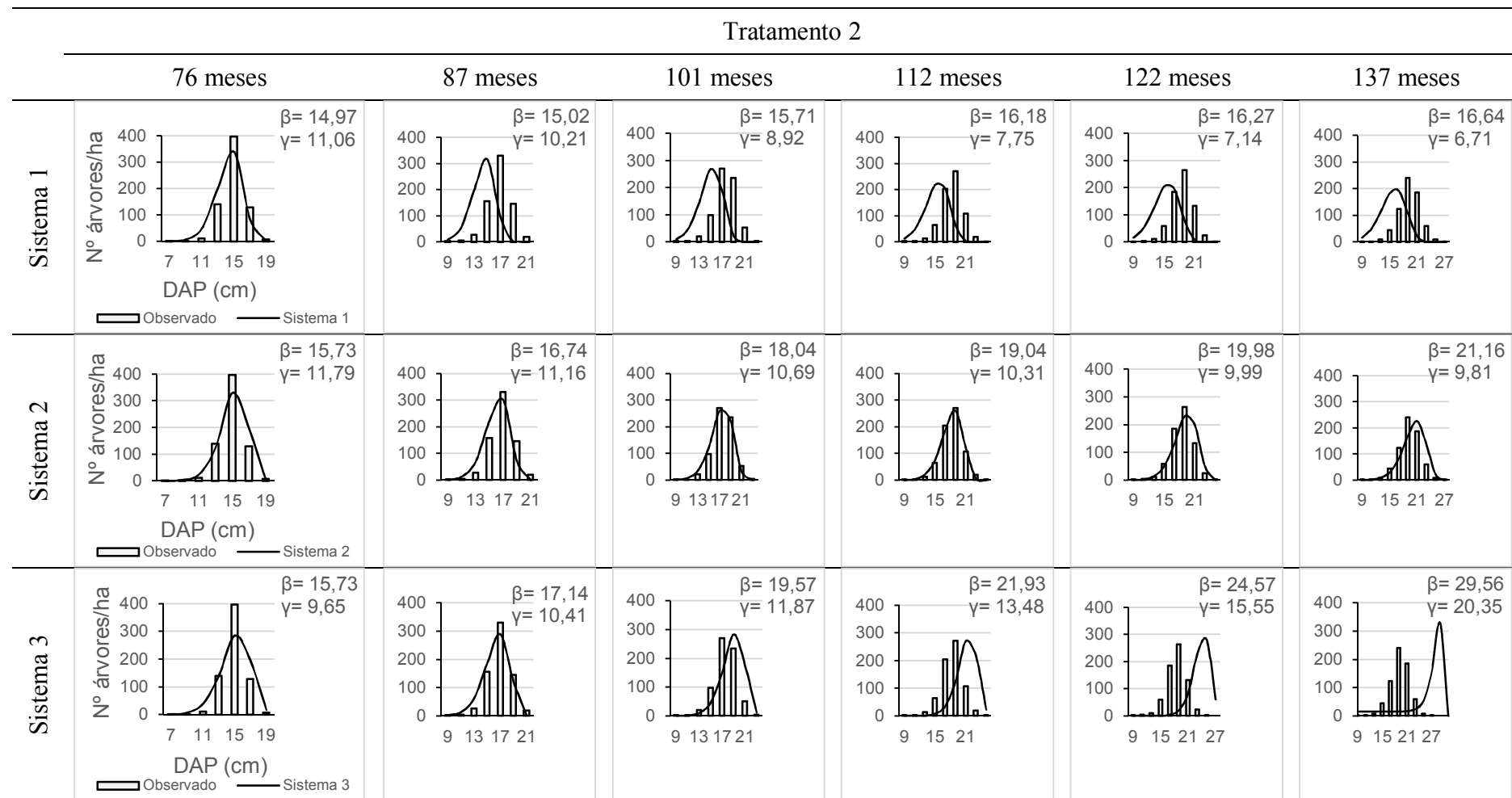
Bailey e Dell (1973) afirmam que o parâmetro de escala deve ser menor que o diâmetro máximo. Essa afirmação corrobora com a elucidação das projeções, realizadas pelo sistema 3, tendentes a uma assimetria à esquerda, em idades mais avançadas. Os parâmetros de escala apresentaram valores próximos ou superiores aos diâmetros máximos preditos pelos modelos.

Figura 3 – Projeções das distribuições diamétricas para as idades 76, 87, 101, 112, 122 e 137, tendo como base inicial as frequências aos 61 meses (simulação 2) e os parâmetros Weibull ajustados pelos sistemas.



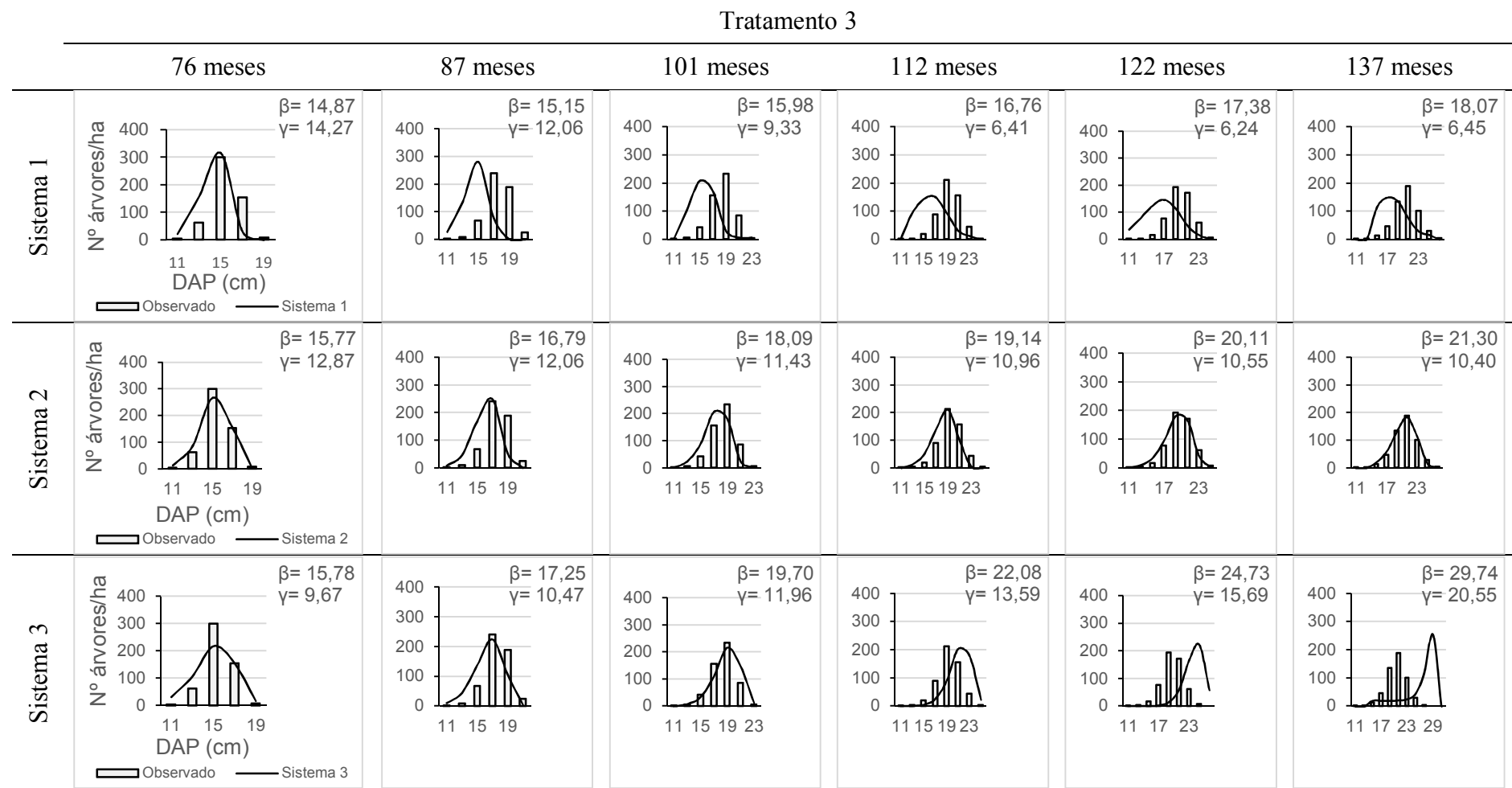
Continua...

Fig. 3: Cont.



Continúa...

Fig. 3: Cont.

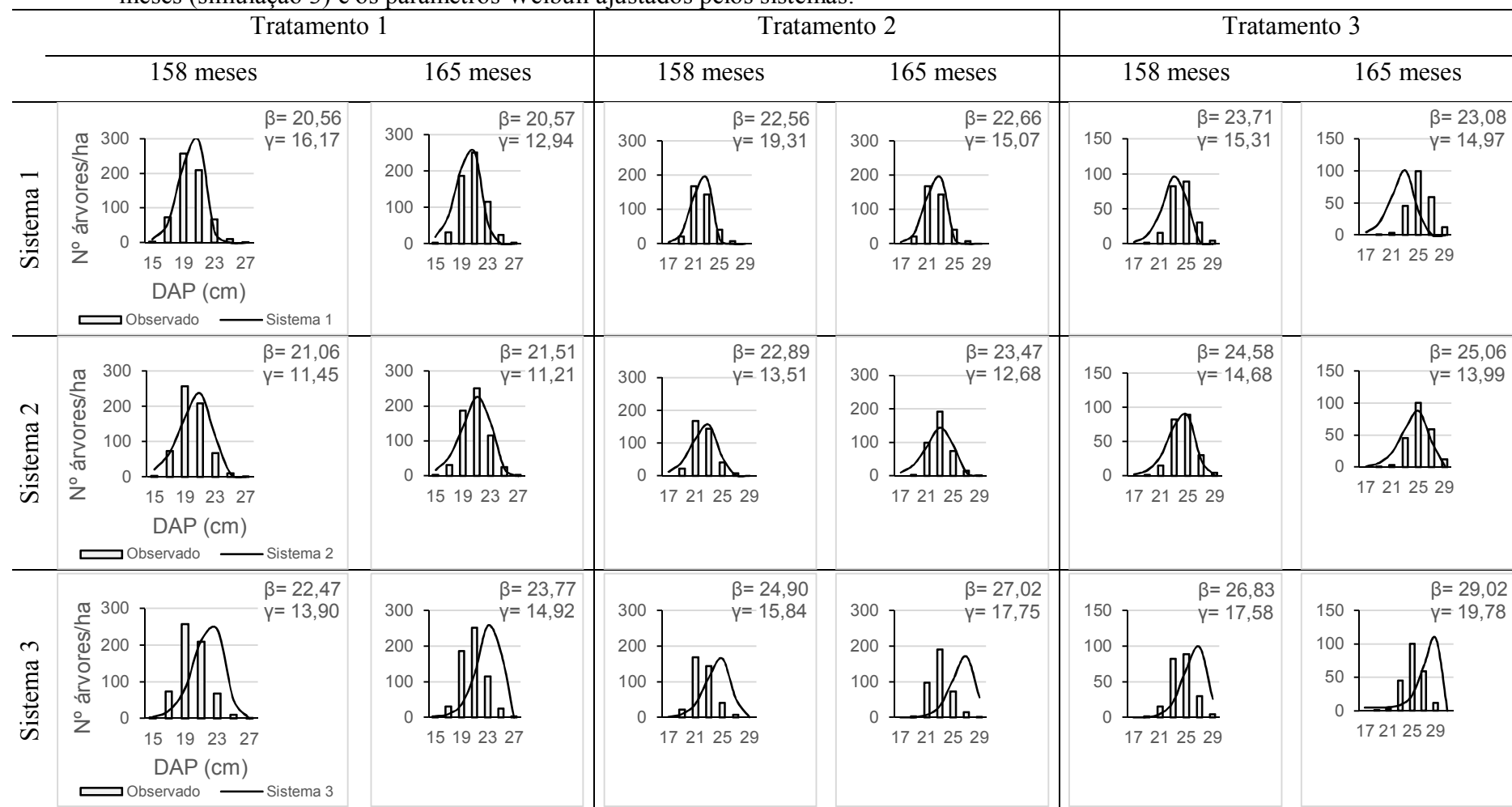


Após o segundo desbaste, nas idades 158 e 165 meses, considerando a distribuição observada aos 147 meses (simulação 3), o sistema 2 se mostrou mais eficiente nas projeções, com frequências próximas aos valores reais (FIG. 4).

Os sistemas 1 e 2 forneceram, curvas com menores tendências a subestimação e superestimação, tendo os parâmetros de escala próximos ao diâmetro médio quadrático observado. Cabe destacar que as estruturas projetadas pelo sistema 2, na idade de 165 meses, obtiveram os menores parâmetros de forma dentre os demais sistemas, repercutindo em uma maior distribuição de indivíduos entre as classes diamétricas, ocasionando um achatamento da curva.

As simulações realizadas pelo sistema 3 proporcionaram uma superestimação nas maiores classes de diâmetros, visto que os parâmetros de escala foram maiores que os demais sistemas, situação essa ratificada pela Figura 3.

Figura 4 – Projeções das distribuições diamétricas para as idades 158 e 165 meses, tendo como base inicial as frequências observadas aos 147 meses (simulação 3) e os parâmetros Weibull ajustados pelos sistemas.



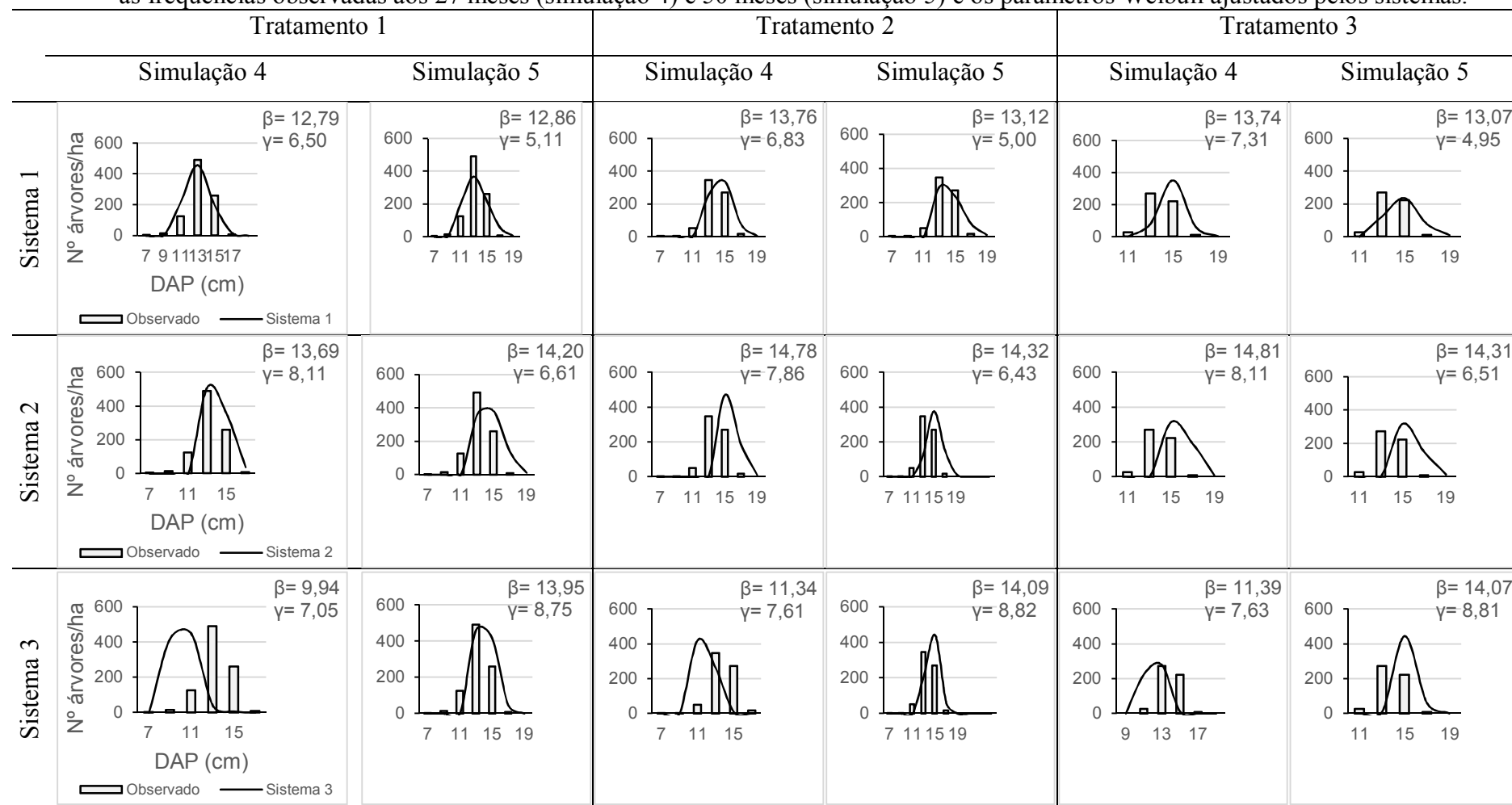
Os resultados das simulações 4 (distribuição média observada aos 27 meses) e 5 (distribuição média observada aos 50 meses), comparando as distribuições diamétricas remanescentes dos desbastes, observadas e projetadas pelos sistemas, aos 61 meses, podem ser observados na Figura 5.

Os sistemas 1 e 2 proporcionaram projeções diamétricas com tendências a superestimação, para as simulações 4 e 5, principalmente para as intensidades de desbaste de 35% e 50%. Quanto ao sistema 3, as estruturas diamétricas projetadas, realizadas na simulação 4, indicaram subestimações em todas as intensidades de desbaste, tendo o inverso para a simulação 5, que gerou tendências a superestimação nos resultados.

Pode-se destacar que os parâmetros de escala dos sistemas 1 e 2 foram próximos entre as simulações, ou seja, não houve diferenças nos posicionamentos das curvas. No entanto, os parâmetros de forma gerados na simulação 5 (distribuição média observada aos 50 meses) foram menores que os da simulação 4 (distribuição média observada aos 27 meses), acarretando um maior achatamento da curva, que por conseguinte, resultou em uma maior distribuição de indivíduos entre as classes diamétricas.

Ao se avaliar o comportamento do sistema 3 nas simulações, este apresentou maiores parâmetros de escala na simulação 5, os quais suscitaram na inserção de maiores classes diamétricas, que por conseguinte proporcionou distribuições diamétricas mais próximas às observadas.

Figura 5 – Distribuições diamétricas remanescentes dos desbastes, observadas e projetadas pelos sistemas aos 61 meses, tendo como base inicial as frequências observadas aos 27 meses (simulação 4) e 50 meses (simulação 5) e os parâmetros Weibull ajustados pelos sistemas.



Os resultados das simulações 4 e 5, comparando as distribuições diamétricas remanescentes dos desbastes, observadas e projetadas pelos sistemas, aos 147 e 165 meses, podem ser observados na Figura 6. Os resultados da simulação 6 (distribuição média observada aos 61 meses), comparando as distribuições diamétricas remanescentes dos desbastes, observada e estimada, aos 147 e 165 meses, também podem ser observados na Figura 6.

Verifica-se que as distribuições diamétricas com maior precisão, considerando os sistemas avaliados, foram obtidas quando se utilizou a distribuição média observada aos 61 meses. Ao comparar os sistemas empregando-se a distribuição média observada aos 61 meses percebe-se que o sistema 2 foi o de melhor desempenho.

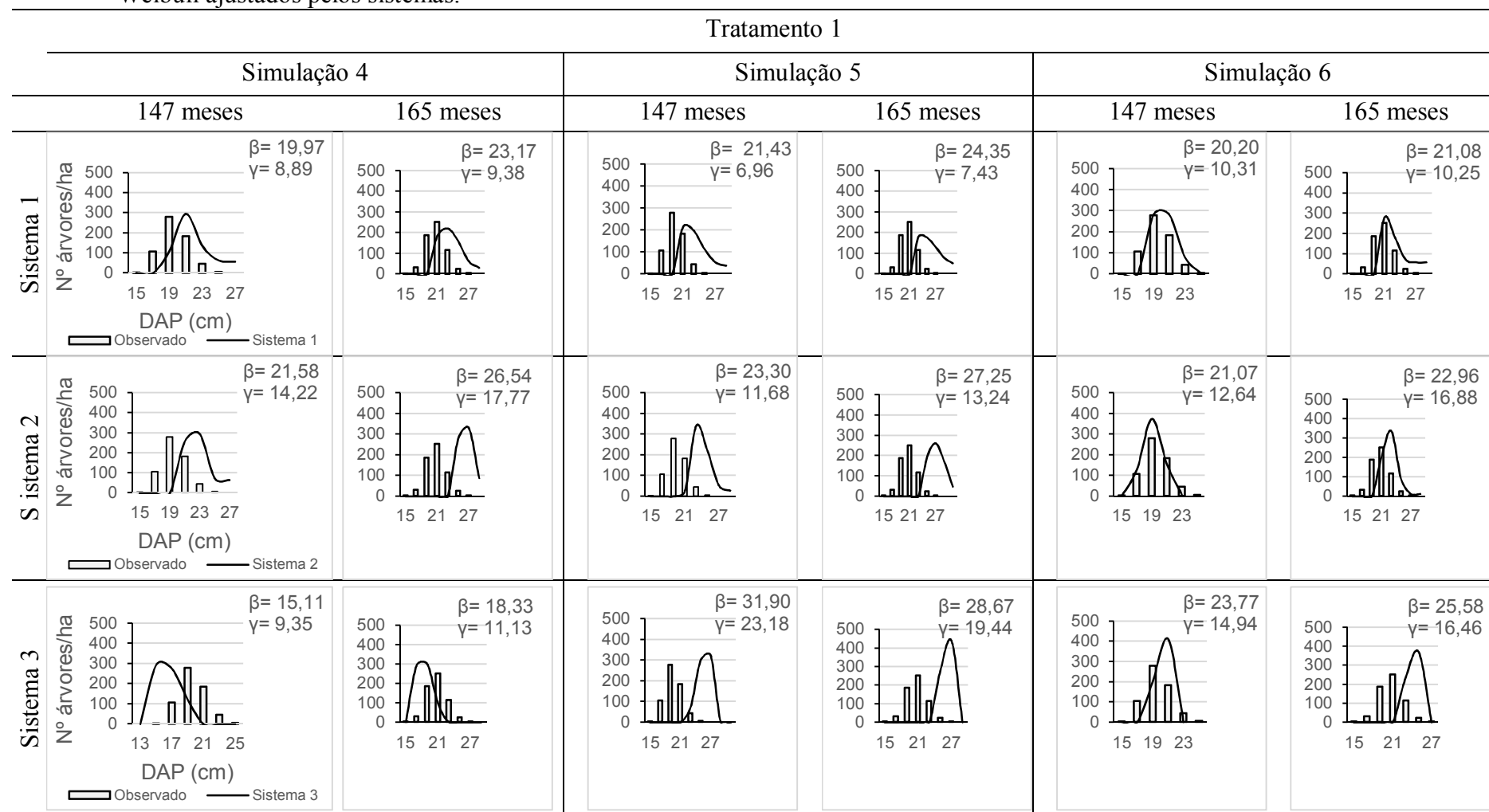
Os sistemas 1 e 2 apresentaram semelhanças nos posicionamentos das curvas entre as simulações, uma vez que, os parâmetros de escalas foram próximos. No entanto, essa pequena variação fez com que as projeções realizadas considerando a distribuição média observada aos 61 meses (simulação 6) captassem melhor.

Houve superestimações nas projeções das simulações 4 e 5 nos sistemas 1 e 2, sendo que entre estas simulações ocorreram estruturas diamétricas próximas, cujos parâmetros de escala foram correlatos. Entretanto, os parâmetros de forma se diferiram, contribuindo com o alongamento ou achatamento da curva.

O sistema 3 aduziu comportamento distinto entre as simulações. Na simulação 4, observou-se os menores parâmetros de Weibull, ocasionando distribuições diamétricas subestimadas. Para a simulação 5, os parâmetros foram os maiores dentre as simulações, promovendo uma superestimação. Quanto a simulação 6, verificou-se projeções próximas às observadas, cujos parâmetros foram intermediários aos das demais simulações.

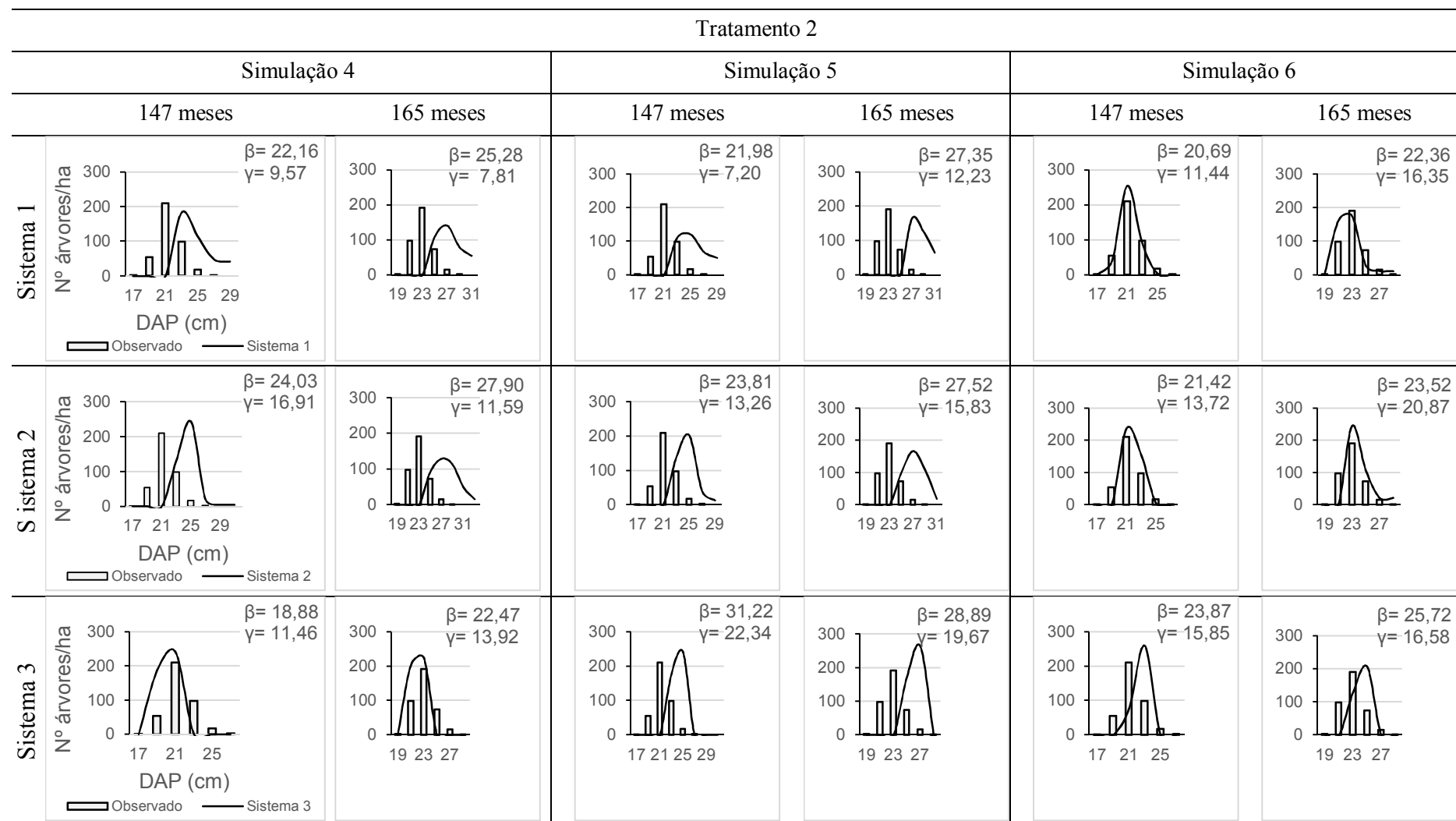
Figura 6 – Distribuições diamétricas remanescentes dos desbastes, observadas e projetadas pelos sistemas, aos 147 e 165 meses, tendo como base inicial as frequências observadas aos 27 meses (simulação 4), 50 meses (simulação 5) e 61 meses (simulação 6) e os parâmetros Weibull ajustados pelos sistemas.

43



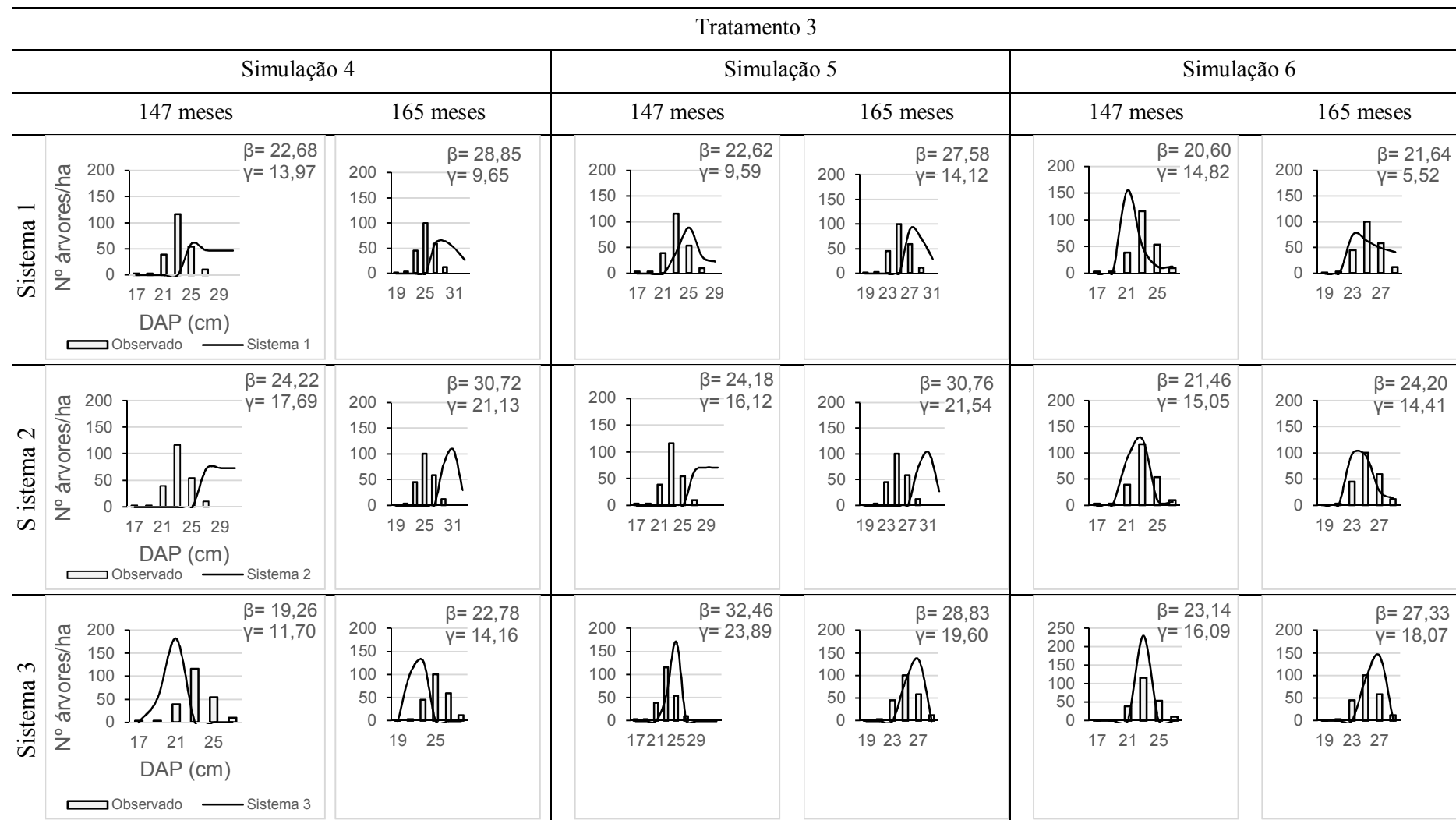
Continua...

Fig. 6- Cont.



Continua...

Fig. 6- Cont.



A significância estatística entre valores observados (obtidos durante as medições das parcelas experimentais) e projetados (obtidos pelos modelos de distribuição de diâmetro), foi analisada por meio do teste F de Graybill. Os resultados para cada simulação são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação entre as distribuições diamétricas observadas e projetadas pelos sistemas, empregando-se o F de Graybill.

[illegible]

Ao analisar a Tabela 2, verifica-se que, para as simulações 1, 2 e 3 proporcionaram um grande número de distribuições projetadas iguais estatisticamente às observadas.

As distribuições diamétricas projetadas, pelo sistema 3, para idade mais tardias (122 e 137 meses) na simulação 2, percebeu-se diferenças estatísticas entre as projeções e as distribuições reais.

Em relação às simulações 4 e 5, os sistemas 1 e 2 não conseguiram projetar com precisão as distribuições diamétricas para as idades após o segundo desbaste (147 e 165 meses). Quanto ao sistema 3, observou-se que houve diferença estatística entre a distribuição projetada e a real apenas na simulação 5, sendo a projeção da idade de 147 meses, na intensidade de desbaste de 20 %.

Ao utilizar como base inicial a distribuição diamétrica observada aos 61 meses (simulação 6), verificou-se melhorias nas projeções dos sistemas para as idades de 147 e 165 meses.

As distribuições diamétricas projetadas pelos sistemas foram confrontadas com as distribuições observadas, por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, a nível de significância de 1%, com intuito de observar se houve semelhança entre as distribuições de indivíduos nas classe diamétricas, descrita na Tabela 3.

As simulações realizadas com as frequências observadas médias aos 27 meses (simulação 1), 61 meses (simulação 2) e 147 meses (simulação 3) foram semelhantes estatisticamente às distribuições reais, para a maioria das idades projetadas. Destaca-se, o sistema 2, o qual apresentou uma assertividade de 100%, embora os demais tenham proporcionado bom desempenho em suas prognoses.

As distribuições projetadas para os 61 meses, simulações 4 e 5, foram não significativas para todos os sistemas e intensidade de desbaste, excetuando-se apenas o sistema 3 da simulação 4 para intensidade de desbaste de 20%. Ao se comparar com as demais idades projetadas, percebeu-se que os sistemas 1 e 2 obtiveram comportamentos semelhantes dentre as simulações 4 e 5, salvo o sistema 1 na intensidade de desbaste de 20%. Quanto ao sistema 3, as projeções se diferiram dentre as simulações e intensidades de desbaste.

A simulação 6 se mostrou eficientes para todos os sistemas, ocasionando igualdade estatística entre as distribuições projetadas e observadas, em todos os sistemas e na

diferentes intensidades de desbaste, senão a projeção realizada na idade de 165 meses pelo sistema 3, na intensidade de desbaste de 20%.

Tabela 3 – Percentual das projeções não significativas e significativas, considerando as intensidades de desbastes de 20%, 35% e 50%, conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov a 1% de significância

	Desbaste 20%			Desbaste 35%			Desbaste 50%		
	Sist.1	Sist.2	Sist.3	Sist.1	Sist.2	Sist.3	Sist.1	Sist.2	Sist.3
Base 27 meses (simulação 1)									
27 para 40	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
40 para 50	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Base 61 meses (simulação 2)									
61 para 76	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
76 para 87	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
87 para 101	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
101 para 112	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns
112 para 122	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*
122 para 137	ns	ns	*	*	ns	*	ns	ns	*
Base 147 meses (simulação 3)									
147 para 158	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
158 para 165	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
Base 27 meses (simulação 4)									
27 para 61	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
61 para 147	ns	*	*	*	*	ns	ns	*	*
147 para 165	ns	*	ns	*	*	ns	*	*	*
Base 50 meses (simulação 5)									
50 para 61	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
61 para 147	*	*	*	*	*	*	ns	*	ns
147 para 165	*	*	*	*	*	*	*	*	ns
Base 61 meses (simulação 6)									
61 para 147	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
147 para 165	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns – não significativo para nível de significância de 1%; * - significativo para nível de significância de 1%.

5 DISCUSSÃO

Os parâmetros da função Weibull projetados pelos três sistemas permitiram que a maioria das distribuições de diâmetros recuperadas pelos sistemas de equações se aproximassem das distribuições observadas.

As equações que integram o sistema de distribuição diamétrica futuras devem ser coesas (SOUZA, 2015), devido elas estarem diretamente relacionadas com a precisão das projeções (NOGUEIRA, 2003). Diante disso, deve-se atentar à relação existente entre os parâmetros da função Weibull e os atributos do povoamento (SOUZA, 2015).

A maioria dos parâmetros de escala gerados pelos modelos ficaram próximos aos diâmetros médios quadráticos observados. Verificou-se que a tendência dos valores dos parâmetros de escala geradas pelo sistema 3 foram superiores ao diâmetro médio quadrático, o que explica a superestimação das distribuições projetadas. Campos e Leite (2013) discorrem que o parâmetro de escala define as dimensões da curva estimada e Souza (2015) destacou que há uma alta correlação entre o parâmetro de escala e o diâmetro médio quadrático.

Todos os sistemas resultaram em uma forte relação entre os valores dos parâmetros de forma e a curtose da curva, conforme Campos e Leite (2013), era um resultado esperado. Segundo Souza (2015) esse parâmetro apresenta uma dependência com o diâmetro mínimo.

Os sistemas se mostraram eficientes nas simulações 1, 2 e 3, destacando-se o sistema 2, o qual apresentou não significância em suas projeções para a maioria das idades trabalhadas nestas simulações, pelo teste F de Graybill (TAB. 2) e de Kolmogorov-Smirnov (TAB. 3). Cabe ressaltar, que o modelo de Nogueira (2003) se mostrou eficiente em suas simulações, proporcionando um alto número de projeções próximas às reais, ratificando os resultados obtidos por Nogueira et al. (2005).

As projeções realizadas nas idades de 112 meses a 137 meses (simulação 2) pelo sistema 3 foram superestimadas, destoando dos valores observados, as quais repercutiram nos resultados significativos dos testes estatísticos. Essas superestimações podem ser ocasionadas pela variável diâmetro médio quadrático (q) inserida no sistema. Como esta variável atribui maior peso a grandes árvores (CAMPOS; LEITE, 2013), podendo ter influenciado nas superestimações, gerando assimetrias negativas.

Conforme Nord-Larsen e Cao (2006), por se tratar de projeções e englobar diversas idades e comportamentos das frequências diamétricas entre as classes diamétricas, as

variáveis independentes englobam todas as variações do povoamento, podendo ocasionar distribuições de diâmetros distintas, mesmo naqueles modelos de distribuição diamétrica com a capacidade de descrever diferentes estratégias de desbaste.

Notou-se melhor desempenho em projeções cujas bases iniciais das distribuições médias observadas foram imediatamente antes do desbaste. Elucida esta situação os testes estatísticos, os quais ilustram as semelhanças nas projeções de 61 meses para a simulação 4 (frequências observadas médias aos 27 meses) e a simulação 5 (frequências observadas médias aos 50 meses), e nas projeções de 147 meses e 165 meses para a simulação 6 (frequências observadas médias aos 61 meses), juntamente com a proximidade de suas curvas às distribuições observadas, expostas nas Figuras 5, 6 e 7. As distribuições diamétricas observadas presentes, utilizadas para realização das projeções, mais próximas às idades futuras projetadas, normalmente, proporcionam resultados mais consistentes, devido estarem mais correlacionadas (COBLE; CAO; JORDAN, 2012).

As simulações 4 e 5 apresentaram distribuições diamétricas semelhantes, salvo para o sistema 3, como ilustradas nos gráficos e testes estatístico. Diante disso, percebeu-se que não houve diferenças na utilização de bases iniciais das distribuições médias observadas de 27 e 50 meses. Em relação ao sistema 3, a base inicial de 50 meses (simulação 5) gerou projeções mais próximas às reais.

Os sistemas obtiveram bons desempenhos nas projeções, proporcionando resultados consistentes do ponto de vista estatístico e do realismo biológico, considerando as simulações de desbastes analisadas neste estudo. Cabe ressaltar a maior eficiência dos sistemas em projeções baseadas em distribuições diamétricas observada antecedida ao desbaste.

Cumprir destacar a superioridade do sistema 2 para as projeções, devido ao bom desempenho apresentado em suas projeções, resultando em distribuições mais próximas aos valores reais. O modelo empregado neste sistema também se mostrou eficiente nos trabalhos de Araújo Júnior et al. (2013); Leite et al. (2005), Nogueira et al. (2005).

O método de ajuste dos parâmetros Weibull utilizado para este sistema foi a máxima verossimilhança, o qual é eficiente para predição dos parâmetros da função Weibull e indicado projetar as distribuições diamétricas (ARAUJO JÚNIOR et al., 2010; KANTAR; SENOGLU, 2008; KIM; YUM, 2008). Souza (2015) relata que há métodos empregados para ajustar a função densidade de probabilidade melhores que outros para cada função, que

conforme Cao (2004), para o método da máxima verossimilhança é o mais indicado para ajustar os parâmetros da função Weibull.

6 CONCLUSÃO

Os modelos propostos por Nogueira (2003), empregando-se os parâmetros da função Weibull ajustados pelo método da máxima verossimilhança (sistema 2) e empregando-se os parâmetros da função Weibull ajustados pelo método da aproximação linear (sistema 1), e por Binoti et al. (2010), empregando-se os parâmetros da função Weibull ajustados pelo método da máxima verossimilhança (sistema 3), proporcionaram bons desempenhos em suas projeções. Sendo que, o sistema 2 apresentou um maior número de distribuições diamétricas projetadas estatisticamente semelhantes às observadas, antes e após os desbastes.

As simulações realizadas pelos modelos de distribuição diamétrica apresentaram realismo estatístico e tendência do crescimento da distribuição de diâmetros para diferentes porcentagens de desbaste. Cabe ressaltar a maior eficiência dos modelos ao se utilizar distribuições diamétricas observadas em idades imediatamente antes do desbaste.

As projeções das distribuições diamétricas, empregando-se como base inicial as distribuições observadas antes do primeiro desbaste e imediatamente após os desbastes (simulações 1, 2 e 3), foram mais precisas do que as projeções obtidas quando foram utilizadas somente as distribuições diamétricas observadas antes do primeiro desbaste como base inicial para as projeções e, em seguida, simulados os desbastes nas idades previstas e, por último, realizadas as projeções empregando-se a distribuição estimada remanescente do desbaste como base inicial para projetar as distribuições para idades subsequentes (simulações 4, 5 e 6).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASI, B.; JAHROMA, A.H.E.; ARKAT, J.; HOSSEINKOUCHACK, M. Estimating the parameters of Weibull distribution using simulated annealing algorithm. **Applied Mathematics and Computation**, v. 183, n. 1, p. 85-93, 2006.
- ABBASI, B.; RABELO, L.; HOSSEINKOUCHACK, M. Estimating parameters of the three-parameter Weibull distribution using a neural network. **European Journal of Industrial Engineering**, v. 2, n. 4, p. 428-445, 2008.
- ABREU, E.C.R.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D.; MELLO, J.M.; KANEGAE JÚNIOR, H. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, n. 61, p. 86-102, 2002.
- ACERBI JÚNIOR, F.W.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D.; MAESTRI, R. Modelo para prognose do crescimento e da produção e análise econômica de regimes de manejo para *Pinus taeda* L. **R. Árvore**, v.26, n.6, p.699-713, 2002.
- ARAÚJO JÚNIOR, C.A., LEITE, H.G., CASTRO, R.V.O.; BINOTI, D.H.B.; ALCÂNTRA, A.E.M.; BINOTI, M.L.M. Modelo da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto utilizando a função gama. **Cerne**, v.19, n.2, p.307-314, 2013.
- ARAÚJO JÚNIOR, C.A.; NOGUEIRA, G.S.; OLIVEIRA, M.L.R.; MIRANDA, R.O.V.; CASTRO, R.V.O.; PELLI, E. Projeção da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto em diferentes amplitudes de classe. **Pesq. agropec. bras.**, v.45, n.11, p.1275-1281, 2010.
- ARCE, J.E. Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* Marsh. através de distribuições diamétricas probabilísticas. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, 2004.
- BAILEY, R. L.; DELL, T. R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. **Forest Science**, v. 19, n. 2, p. 97-104, 1973.
- BARTOSZECK, AC.P.S.; MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E.B. A distribuição diamétrica para bracatingais em diferentes idades, sítios e densidades na região metropolitana de Curitiba. **Floresta**, v.34, n.3, p. 305-323, 2004.
- BINOTI, D.H.B; BINOTI, M.L.M.S.; LEITE, H.G.; MELIDO, R.C.N.; SANTOS, F.L. Descrição da distribuição diamétrica de sistemas agrossilvipastoris utilizando as funções Weibull e hiperbólica. **R. Árvore**, v.36, n.2, p.349-356, 2012.
- BINOTI, D.H.B.; LEITE, H.G.; GUIMARÃES, D.P.; SILVA, M.L.M.; GARCIA, S.L.R.; FARDIN, L.P. Eficiência das funções Weibull e hiperbólica para descrição de distribuições diamétricas de povoamentos de *Tectona grandis*. **R. Árvore**, v.35, n.2, p. 299-306, 2011.
- BINOTI, D.H.B.; LEITE, H.G.; NOGUEIRA, G.S.; SILVA M.L.M., GARCIA, S.L.R.; CRUZ, J.P. Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica para plantios de eucalipto submetidos a desbaste. **R. Árvore**, v.34, n.1, p.147-156, 2010.

BROOKS, J.R.; BAILEY, R.L. **A review of thinning for slash and loblolly pine in the South**. Athens, Georgia: University of Georgia, School of Forest Resources. Plantation Management Research Cooperative Technical Report, 1992.

BURKHART, H. E.; CAO, Q. V.; WARE, K. D. **A comparison of growth and yield prediction models for loblolly pine**. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, 1981.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4 ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, 2013.

CAO, Q.V. Predicting parameters of a Weibull function for modeling diameter distribution. **Forest Science**, v. 50, n. 5, p. 682-685, 2004.

COBLE, D.W.; CAO, Q.V.; JORDAN, L. An annual tree survival and diameter growth model for loblolly and slash pine plantations in East Texas. **Southern Journal of Applied Forestry**, v.36, n. 2, p.79-84, 2012.

DIAS, A.N. **Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbaste**. 2000. 70 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.R. Determinação do peso do desbaste para florestas de *Eucalyptus grandis* hill ex maiden, com base no índice de espaçamento relativo. **Ciência Florestal**, v.9, n.1, p. 79-87 1999.

GLUFKE, C.; FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.R. Crescimento de *Pinus elliottii* engelm sob diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, v.7, n.1, p. 11-25, 1997.

GONZÁLEZ, J.G.V.; SCHRÖDER, J.; SOALLEIRO, R.R.; GONZÁLEZ, A.D.R. Modelling the effect of thinnings on the diameter distribution of even-aged Maritime pine stands. **Forest Ecology and Management**, v. 165, n. 1-3, p. 57-65, 2002.

GOVE, J.H.; FAIRWEATHER, S.E. Maximum-likelihood estimation of Weibull function parameters using a general interactive optimizer and grouped data. **Forest Ecology and Management**, v. 28, n. 1, p. 61-69, 1989.

GOVE, J.H.; PATIL, G.P. Modeling the basal area-size distribution of forest stands: a compatible approach. **Forest Science**, Bethesda, v.44, n.2, p.285-297, 1998.

GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Massachusetts: Ouxburg Press, 1976.

GUIMARÃES, D. P. **Uma função hiperbólica de distribuição probabilística de alta flexibilidade**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002.

JOHNSON, N. L. Systems of frequency curves generated by methods of translation. **Biometrika**, v. 36, n. 1, p. 149-176, 1949.

KANTAR, Y.M.; SENOGLU, B. A comparative study for the location and scale parameters of the Weibull distribution with given shape parameter. **Computers & Geosciences**, v.34, n 12, p. 1900-1909, 2008.

KIM, J.S.; YUM, B.J. Selection between Weibull and lognormal distributions: A comparative simulation study. **Computational Statistics and Data Analysis**, v. 53, n. 2, p. 477-485, 2008.

KNOEBEL, B.R.; BURKHART, H.E.; BECK, D.E. A growth and yield model for thinned stands of Yellow poplar. **Supplement to Forest Science**, v.32, n.2, 1988.

LEITE, H.G.; ALCÂNTARA, A.E.M.; BINOT, D.H.B.; OLIVEIRA NETO, R.R.; SILVA, M.L.M. Comparação entre predição e projeção da distribuição de diâmetros de povoamentos de eucalipto submetidos a desbastes. **R. Árvore**, v.37, n.2, p.321-328, 2013.

LEITE, H.G.; BINOTI, D.H.B.; GUIMARÃES, D.P.; SILVA, M.L.M.; GARCIA, S.L.R. Avaliação do ajuste das funções Weibull e hiperbólica a dados de povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste. **R. Árvore**, v.34, n.2, p.305-311, 2010.

LEITE, H.G.; NOGUEIRA, G.S.; CAMPOS, J.C.C.; SOUZA, A.L.; CARVALHO, A. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Eucalyptus* sp. Submetidos a desbaste. **R. Árvore**, v.29, n.2, p.271-280, 2005.

LEITE, H.G.; NOGUEIRA, G.S.; CAMPOS, J.C.C.; TAKIZAWA, F.H.; RODRIGUES, F.L. Um modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **R. Árvore**, v.30, n.1, p.89-98, 2006.

LEITE, H.G., OLIVEIRA, F.H.T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 33, n. 7-8, p. 1105-1118, 2002.

MÄKINEN, H.; ISOMÄKI, A. Thinning intensity and growth of Norway spruce stands in Finland. **Forestry**, v. 77, n. 4, p. 349-365, 2004a.

MÄKINEN, H.; ISOMÄKI, A. Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland. **Forest Ecology and Management**, v. 201, p. 311-325, 2004b.

NASCIMENTO, R.G.M.; MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; HIGUCHI, N. Modelo de projeção por classe diamétrica para florestas nativas: enfoque na função probabilística de Weibull. **Pesq. flor. bras.**, v. 32, n. 70, p. 209-219, 2012.

NOGUEIRA, G.S. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. 2003. 132 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

NOGUEIRA, G.S.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; CARVALHO, A.F.; SOUZA, A.L. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **R. Árvore**, v.29, n.4, p.579-589, 2005.

NOGUEIRA, G.S.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; TAKIZAWA, F.H; COUTO, L. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **R. Árvore**, v.30, n.3, p.377-387, 2006.

NOGUEIRA, G.S.; MARSHALL, P.L.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C. Thinning intensity and pruning impacts on *Eucalyptus* plantations in Brazil. **International Journal of Forestry Research**, v. 2015, 10 p., 2015.

NORD-LARSEN, T.; CAO, Q.V. A diameter distribution model for even-aged beech in Denmark. **Forest Ecology and Management**, v. 231, n. 1-3, p. 218-225, 2006.

OLIVEIRA, E.B.; MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Sistema para simulação do crescimento e da produção de *Pinus taeda* L. e avaliação econômica de regimes de manejo. **R. Árvore**, v.22, n.1, p.99-111, 1998.

PÁSCOA, F., 1987. **Estrutura, crescimento e produção em povoamentos de pinheiro bravo**. Um modelo de simulação. 1987. 238 f. Tese de doutorado – Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 1987.

PEREIRA, J.C.D.; TOMASELLI, I. A influência do desbaste na qualidade de madeira de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n. 49, p. 61-81, 2004.

RUSTAGI, K.P. Predicting stand structure in even-aged stands. In: GROWTH MODELS FOR LONG TERM FORECASTING OF TIMBER YIELDS, 1977, Blacksburg. **Proceedings...** [S.L]: IUFRO, [1977]. p. 1-16.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. 2.ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008.

SCHNEIDER, P.R., FINGER, C.A.G.; HOPPE, J.M.; DRESCHER, R.; SCHEEREN, L.W.; MAINARDI, G.; FLEIG, F.D. Produção de *Eucalyptus grandis* hill exmaiden em diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, v.8, n.1, p. 129-140, 1998.

SCOLFORO, J.R.S.; ACERBI JÚNIOR, F.W.; OLIVEIRA, A.D.; MAESTRI, R. Simulação e avaliação econômica de regimes de desbastes e desrama para obter madeira de *Pinus taeda* livre de nós. **Ciência Florestal**, v.11, n.1, p.121-139, 2001.

SCOLFORO, J.R.S.; THIERSCHI, A. Estimativas e testes da distribuição de frequência diamétrica para *Eucalyptus camaldulensis*, através da distribuição Sb, por diferentes métodos de ajuste. **Scientia Florestalis**, n.54, p. 93-106, 1998.

SHIFLEY, S.; LENTZ, E. Quick estimation of the three-parameter Weibull to describe tree size distributions. **Forest Ecology and Management**, v. 13, n. 3-4, p. 195-203, 1985.

SMITH, D.M. **The practice of silviculture**. New York: John Wiley & Sons, 1962.

SOARES, P.; TOMÉ, M.; SKOVSGAARD, J.P.; VANCLAY, J.K. Evaluating a growth model for forest management using continuous forest inventory data. **Forest Ecology and Management**, v.71, n. 3, p. 251-265, 1995.

SOARES, T.S.; LEITE, H.G.; SOARES, C.P.B.; VALE, A.B. Projeção da distribuição diamétrica e produção de povoamentos de eucalipto empregando diferentes formas da função Weibull. **R. Árvore**, v.35, n.5, p.1027-1032, 2011.

SOARES, T. S.; LEITE, H.G.; VALE, A.B.; SOARES, C.P.B.; SILVA, G.F. Avaliação de um modelo de passo invariante na predição da estrutura de um povoamento de *Eucalyptus sp.* **R. Árvore**, v.31, n.2, p.275-283, 2007.

SOARES, T.S.; SILVA, M.L.; GAMA, J.R.V.; CARVALHO, R.M.M.A.; VALE, R.S. Avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbaste. **R. Árvore**, v.27, n.4, p.481-486, 2003.

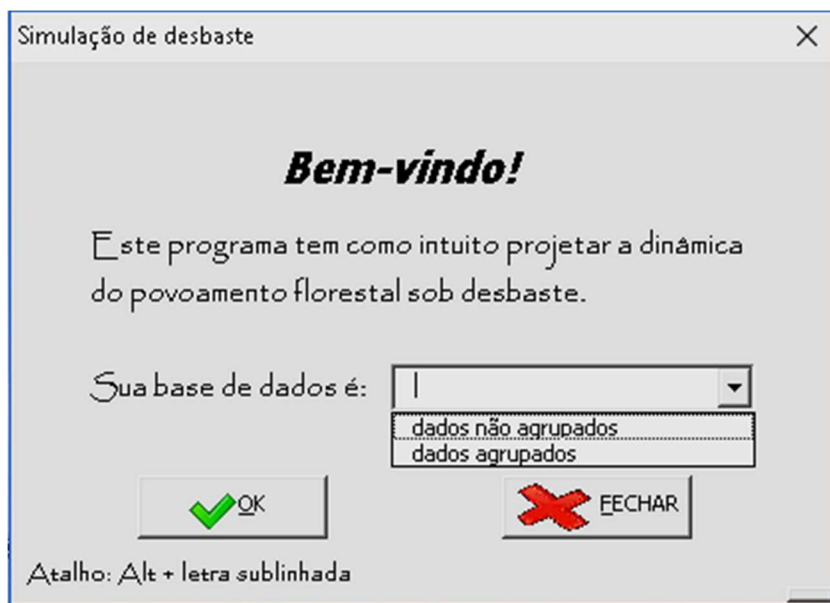
SOUZA, E.G. **Projeção da estrutura diamétrica em povoamentos de eucalipto submetidos a desbastes**. 2015. 47p. (Dissertação – Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2015.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C.R.; SANTINI, E.J.; SCHNEIDER, P.R.; MENEZES, L.F. Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 4, p. 377-387, 2007.

VIALI, L. **Testes de Hipóteses não paramétricos**. Porto Alegre: UFRGS/ Departamento de estatística, 2008.

ZANUNCIO, A.J.V.; COLODETTE, J.L.; GOMES, F.J.B.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R. Composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 755-760, 2013.

APÊNDICE A – USERFORM DA PÁGINA INICIAL.



APÊNDICE B – USERFORM PARA IMPORTAÇÃO DE DADOS NÃO AGRUPADOS E AGRUPAMENTO.

Parc	Dap
1	10,4
1	8,4
1	6,9
1	9,1
1	8,3
1	6,7
1	10,3
1	9,1
1	7,3
1	9,8
1	9,2
1	8
1	9,7
1	10,7
1	7,6
1	7,5
1	9,4
1	8,3
1	6,3
1	10,1
1	8,5
1	9,5
1	8,7
1	6,6
1	9,6
1	7,5
1	8,4
1	8,1
1	10,1
1	8
1	7,5
1	10,7
1	9,9
1	8,1

Valor central	Frequência	Frequência acumulad.
5	56,67	56,67
7	246,67	303,34
9	583,34	886,68
11	310	1196,68
13	0	1196,68

APÊNDICE C – USERFORM PARA IMPORTAÇÃO DE DADOS AGRUPADOS.

The screenshot shows a userform titled 'Base de dados' with a tabbed interface. The 'Entrada de dados' tab is active. It contains a table with two columns: 'Vc' and 'Freq'. The data is as follows:

Vc	Freq
5	27,09
7	90,78
9	145,92
11	291,36
13	585,57
15	169
17	1

To the right of the table are three buttons: 'Importar' (with a green arrow icon), 'Voltar' (with a green left arrow icon), and 'Avançar' (with a green right arrow icon). At the bottom left, there is a keyboard shortcut提示: 'Atalho: Alt + letra sublinhada'.

APÊNDICE D – USERFORM DE PARÂMETROS DOS MODELOS EMPREGADOS NAS PROJEÇÕES.

The screenshot shows a userform titled 'Simulação de desbaste' with three tabs: 'Parâmetros do sistema', 'Modelos', and 'Dados de simulação'. The 'Modelos' tab is active. It contains several input fields and dropdown menus for model parameters.

Método de ajuste

☐ Aproximação linear ☐ Máxima verossimilhança

Diâmetro mínimo futuro

Modelo 1

b_1 b_2

Diâmetro máximo futuro

b_1

Número de árvores futuro

Modelo 1

b_1 b_2

Parâmetro de escala futuro

b_1

Parâmetro de forma futuro

b_1 b_2 b_3

b_4 b_5

APÊNDICE E – USERFORM PARA DEFINIÇÃO DAS IDADES, INTENSIDADE DE DESBASTE E TIPO DE DESBASTE.

Simulação de desbaste

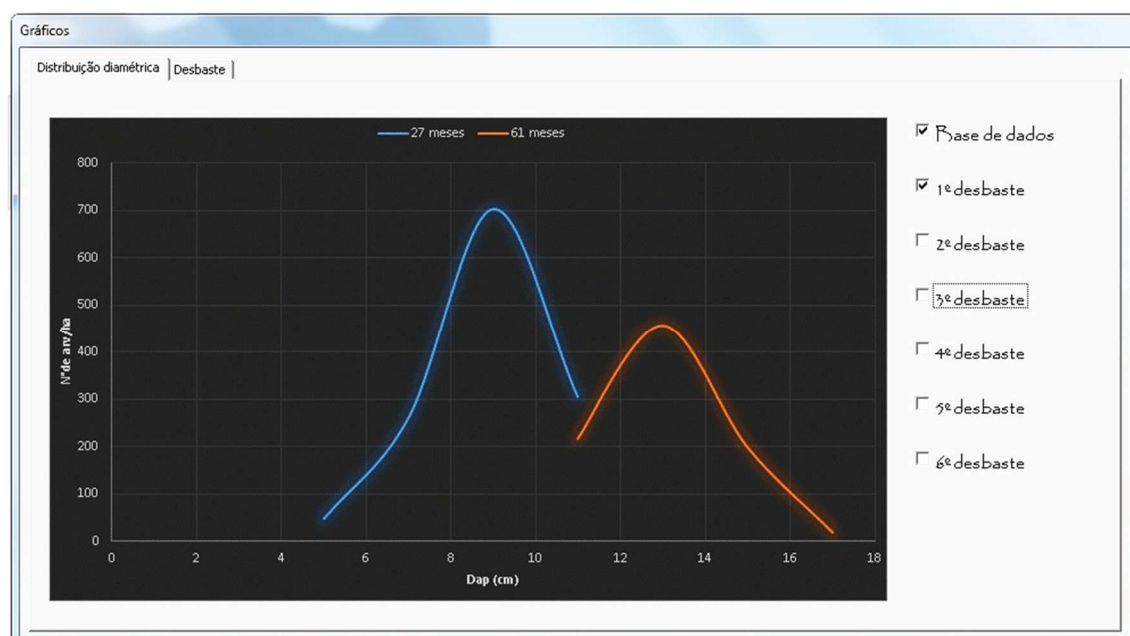
Parâmetros do sistema | Modelos | Dados de simulação

Base de dados: meses

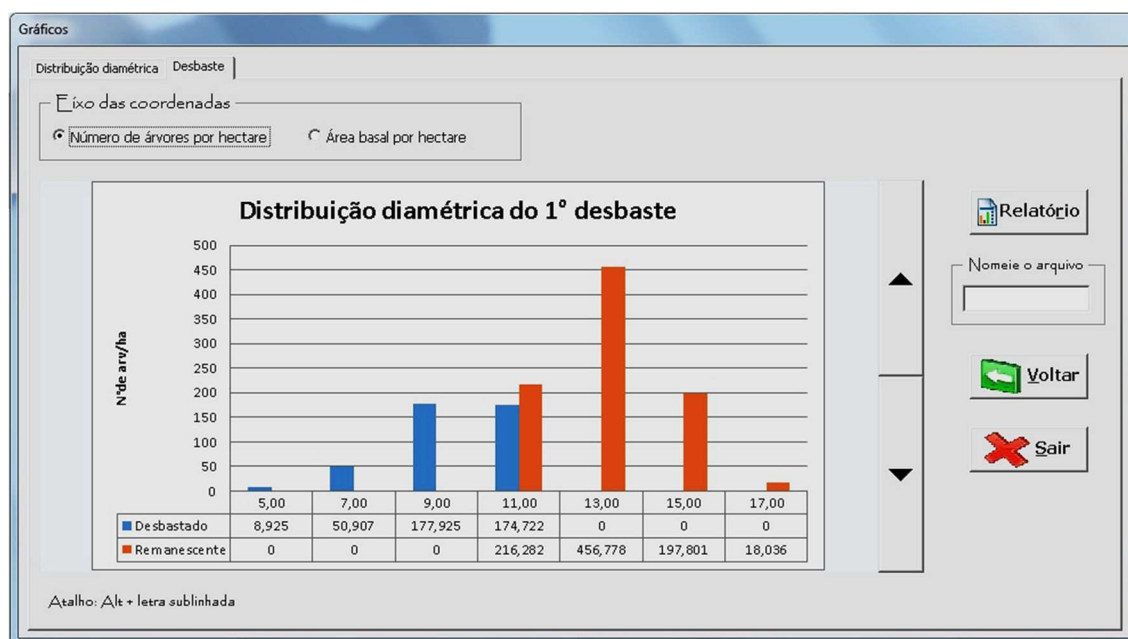
	Idade (meses)	Intensidade do desbaste (%)	Tipo de desbaste	
1º desbaste	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Seletivo	<input type="radio"/> Sistemático
2º desbaste	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Seletivo	<input type="radio"/> Sistemático
3º desbaste	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Seletivo	<input type="radio"/> Sistemático
4º desbaste	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Seletivo	<input type="radio"/> Sistemático
5º desbaste	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Seletivo	<input type="radio"/> Sistemático
6º desbaste	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Seletivo	<input type="radio"/> Sistemático

Atalho: Alt + letra sublinhada

APÊNDICE F – USERFORM PARA EXIBIÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES DIAMÉTRICAS DAS IDADES.



APÊNDICE G – USERFORM QUE ILUSTRA AS REMOÇÕES DE INDIVÍDUOS GRAFICAMENTE.



APÊNDICE H – MODELO DO RELATÓRIO NA EXTENSÃO PDF.

